

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

JOÃO VITOR AIELLO DE TULIO

**PROJETO E MANUFATURA DE UM APARELHO DO TIPO CROCKMETER
CONFORME A ABNT NBR ISO 105-X12**

LONDRINA

2025

JOÃO VITOR AIELLO DE TULIO

**PROJETO E MANUFATURA DE UM APARELHO DO TIPO CROCKMETER
CONFORME A ABNT NBR ISO 105-X12**

**Design and Manufacturing of a Crockmeter-Type Device According to NBR ISO
105-X12**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Mecânica da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientador(a): Janaina Fracaro De Souza Goncalves.

LONDRINA

2025



Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

JOÃO VITOR AIELLO DE TULIO

**PROJETO E MANUFATURA DE UM APARELHO DO TIPO CROCKMETER
CONFORME A ABNT NBR ISO 105-X12**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Mecânica da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 19/novembro/2025

Janaina Fracaro de Souza Gonçalves
Doutorado em Engenharia Aeronáutica e Mecânica
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Londrina

Marcelo Borges dos Santos
Doutorado em Engenharia de Mecânica
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Londrina

Roger Nabeyama Michels
Doutorado em Agronomia
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Londrina

LONDRINA

2025

Dedico este trabalho aos meus pais, que me apoiaram em todas as fases da vida.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente aos meus pais, Liana e Vladimir, que jamais mediram esforços para que eu me torne um engenheiro e ser humano. Vocês são muito mais importantes do que imaginam.

Ao meu irmão Pedro Henrique, te ver crescer é uma dádiva e espero sempre te ter por perto apesar da distância.

À minha namorada Beatriz, que faz com que eu me sinta um homem de sorte todos os dias. Obrigado por todo o companheirismo, paciência e carinho durante a realização desse trabalho.

Gostaria também de agradecer a minha orientadora, professora Dra. Janaina Fracaro de Souza Gonçalves, pela oportunidade de desenvolver esse estudo e por todo o suporte oferecido durante a execução do mesmo.

Um agradecimento também a UTFPR campus Londrina, em especial ao Departamento Acadêmico de Engenharia Mecânica (DAMEC) por toda a minha formação acadêmica e por todo o conhecimento transmitido.

Agradecimento também aos meus amigos de que conquistei ao longo da graduação, Guilherme Silva, Guilherme Zanin, João Fonseca, Julia Zanola, Luan Garcia e Matheus Magnano. A convivência com vocês sempre tornava os dias mais divertidos.

Se fiz descobertas valiosas, foi mais por ter
paciência do que qualquer outro talento.
(ISAAC NEWTON).

RESUMO

Este trabalho apresenta o projeto e a manufatura de um equipamento que avalia a resistência do tingimento em tecidos conforme os requisitos técnicos estabelecidos na norma ABNT NBR ISO 105-X12. O estudo tem como objetivo desenvolver um protótipo funcional e de baixo custo quando comparado aos equipamentos semelhantes, facilitando a realização de testes em ambientes acadêmicos. Os métodos utilizados para a execução do projeto foram baseados em princípios de Design for Manufactory and Assembly (DFMA) com foco na redução do número de componentes e na simplificação das etapas de produção e montagem. O resultado foi um protótipo com estrutura funcional, fabricável com recursos convencionais e potencial para aplicação em ambientes acadêmicos com possibilidade de desenvolvimento em trabalhos futuros.

Palavras-chave: solidez de cor; ensaios têxteis; controle de qualidade; DFMA; prototipagem.

ABSTRACT

This work presents the design and manufacture of a device developed to evaluate the color fastness of dyed fabrics according to the technical requirements established by the ABNT NBR ISO 105-X12 standard. The main objective of the study was to develop a functional and low-cost prototype compared to similar commercial equipment, facilitating the performance of tests in academic environments. The methods applied in the project were based on the principles of *Design for Manufacturing and Assembly* (DFMA), focusing on reducing the number of components and simplifying production and assembly stages. The result was a functional prototype that can be manufactured using conventional resources and has potential for application in academic environments, with opportunities for further development in future studies.

Keywords: color fastness; textile testing; quality control; DFMA; prototyping.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Mecanismos de desgaste em tecidos	18
Figura 2: Escala cinza	19
Figura 3: Crockmeter de acionamento manual.....	20
Figura 4: Crockmeter de acionamento elétrico	20
Figura 5: Mecanismo biela manivela	21
Figura 6: Crockmeter do campus Apucarana	21
Figura 7: Lixa fixada na base do crockmeter.....	22
Figura 8: Abraçadeiras e tecido testemunha	24
Figura 9: Corpo de prova utilizado no crockmeter.....	25
Figura 10: Fluxograma da aplicação de DFMA	27
Figura 11: Fluxograma do processo.....	29
Figura 12: Fluxograma de fabricação do crockmeter	31
Figura 13: Cronograma de planejamento de desenvolvimento do produto.....	32
Figura 14: Vista isométrica do modelo conceitual do crockmeter.	33
Figura 15: Vista lateral do modelo conceitual do crockmeter.....	33
Figura 16: Vista fronal do modelo conceitual do crockmeter.	34
Figura 17: Representação do sistema como uma viga bi engastada	36
Figura 18: Modelagem do sistema como uma viga engastada	37
Figura 19: Seção transversal da chapa da base.....	38
Figura 20: Tensão de escoamento do material empregado	39
Figura 21: Vista isométrica da base do crockmeter.....	40
Figura 22: Desenhos da base com dimensões.....	40
Figura 23: Modelo 3D da tampa	41
Figura 24: Desenhos cotados dos componentes da tampa	42
Figura 25: Vista isométrica do braço principal do mecanismo do crockmeter.	43
Figura 26: Dimensões do blank do braço principal	43
Figura 27: Vista isométrica e detalhe A do braço principal.....	43
Figura 28: Modelo 3D do arranjo do eixo de rotação	44
Figura 29: Modelos 3D desenvolvidos para os braços	44
Figura 30: Modelo dos braços menores.....	45
Figura 31: Modelo do braço maior.....	45
Figura 32: Modelo das juntas de rotação.....	45
Figura 33: Suporte de rolamento	46
Figura 34: Modelo 3D do suporte de rolamento	46
Figura 35: Vista lateral com detalhe para conjunto a ser soldado.....	47
Figura 36: Rolamento utilizado no crockmeter.....	47
Figura 37: Detalhe do eixo no modelo 3D	48
Figura 38: Material base para fabricação do eixo e outros componentes.	48
Figura 39: Modelo 3D do arranjo de fixação do pino	49
Figura 40: Modelo 3D do arranjo de deslizamento dos trilhos traseiros	50
Figura 41: Recorte da prancha de fabricação do trilho de deslizamento.....	50
Figura 42: Modelo 3D da manivela de acionamento do crockmeter.....	51
Figura 43: Recorte do orçamento enviado pela metalúrgica.....	52
Figura 44: Materiais de construção do crockmeter.....	52
Figura 45: Conjuntos soldados.....	55
Figura 46: Protótipo do crockmeter montado.....	58
Figura 47: Orçamento dos produtos conformados.....	59

Figura 48: Gráfico de distribuição de custos.....	60
Figura 49: Distribuição de custos considerando matéria prima de usinagem ..	61

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AATCC	American Association of Textile Chemists and Colorists
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	American Society for Testing and Materials
CAD	Computer Aided Design
GB	Guójiā Biāozhǔn (Padrão Nacional Chinês)
ISO	International Organization for Standardization
NBR	Normas Brasileiras
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

LISTA DE SÍMBOLOS

Hz	Hertz
mm	Milímetro
N	Newton
P	Pressão
m	Metro
kg	quilograma
Un.	Unidade

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	15
2.1	Objetivo geral.....	15
2.1.1	Objetivos específicos.....	15
3	JUSTIFICATIVA.....	16
4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
4.1	Tribologia aplicada a materiais têxteis	17
4.1.1	Desgaste de tecidos	17
4.2	Fundamentos de solidez de cor	18
4.3	O ensaio de crocking	20
4.3.1	O conceito do ensaio	20
4.3.2	Requisitos técnicos do ensaio	22
<u>4.3.2.1</u>	<u>Aparelhagem do crockmeter</u>	<u>22</u>
<u>4.3.2.2</u>	<u>Execução do ensaio de crocking.....</u>	<u>23</u>
<u>4.3.2.3</u>	<u>Tecidos testemunha utilizados no crockmeter.....</u>	<u>23</u>
<u>4.3.2.4</u>	<u>Corpos de prova do ensaio de solidez de cor</u>	<u>24</u>
4.3.3	Normas aplicadas na execução do ensaio	25
4.3.4	Processos de fabricação do crockmeter.....	25
<u>4.3.4.1</u>	<u>Conceitos de <i>Design For Manufactury and Assembly</i> (DFMA)</u>	<u>26</u>
5	MATERIAIS E MÉTODOS	28
5.1	Análise da norma técnica	29
5.2	Ferramentas de desenvolvimento de produto	29
5.3	Planejamento de desenvolvimento do protótipo.....	30
5.4	Projeto conceitual	32
5.5	Projeto detalhado	34
5.5.1	Considerações iniciais e etapas de projeto	34
5.5.2	Seleção de materiais	35
5.5.3	Memorial de cálculo para validação dos materiais empregados	36
5.5.4	Descrição dos principais componentes	39
<u>5.5.4.1</u>	<u>Base da estrutura</u>	<u>39</u>
<u>5.5.4.2</u>	<u>Tampa de suporte do tecido.....</u>	<u>40</u>
<u>5.5.4.3</u>	<u>Braço principal e demais braços móveis</u>	<u>42</u>
<u>5.5.4.4</u>	<u>Mancal e eixo de rolamento</u>	<u>45</u>

<u>5.5.4.5</u>	<u>Pino de atrito</u>	<u>48</u>
<u>5.5.4.6</u>	<u>Trilhos de deslizamento.....</u>	<u>49</u>
<u>5.5.4.7</u>	<u>Manivela</u>	<u>50</u>
5.6	Manufatura dos componentes do protótipo.....	51
5.6.1	Componentes conformados	51
5.6.2	Componentes usinados.....	53
5.6.3	Etapas de soldagem.....	54
5.7	Montagem do crockmeter.....	55
6	RESULTADOS.....	58
6.1	Análise de custo do protótipo	59
7	CONCLUSÕES	62
7.1	Sugestões para trabalhos futuros	63
	REFERÊNCIAS.....	64
	ANEXO A – FOLHA DE PROCESSOS DO EIXO	66
	ANEXO B – FOLHA DE PROCESSOS DO PINO DE FRICÇÃO	67

1 INTRODUÇÃO

A indústria têxtil desempenha um papel fundamental na economia e na qualidade de vida da sociedade, sendo responsável por faturamentos expressivos que atingiram a casa dos R\$ 190 bi no ano de 2022 (IEMI, 2023).

Com um aumento no potencial do mercado, há também um aumento na concorrência. Segundo Roy e Prakash (2024), a indústria têxtil é uma indústria multifacetada e seu controle de qualidade está presente em todas as etapas da produção de modo a evitar defeitos em etapas de corte, tingimento, costura, etiquetagem e armazenagem dos produtos.

O controle de qualidade têxtil é um sistema adotado para prevenir falhas em processos e produtos, de modo que o objetivo é suprir as necessidades produtivas e desejos dos clientes (DELTA, 2023). Desse modo, é possível observar o interesse do controle de qualidade nas propriedades das matérias primas e dos produtos.

Uma propriedade dos tecidos que possui grande relevância para a indústria é a solidez de cor à fricção, definida por Gomes (2022) como a capacidade que um artigo têxtil possui de manter a cor independente do meio onde é submetido de modo que o mesmo não perca intensidade de cor ou mudança de tonalidade.

Nesse contexto, a avaliação precisa e padronizada da solidez da cor à fricção torna-se fundamental. Normas técnicas, como a brasileira ABNT NBR ISO 105-X12, estabelece os procedimentos e os equipamentos necessários para realizar esses ensaios de forma confiável e reproduzível. O equipamento central para essa avaliação é o Crockmeter, um aparelho projetado para simular as condições de atrito de maneira controlada, permitindo quantificar a resistência da cor do tecido à fricção seca e úmida.

A aquisição de um aparelho do tipo crockmeter pode representar um custo de acima de R\$ 100 mil, o que muitas vezes inviabiliza a realização do ensaio ou o acesso as informações referentes ao maquinário.

Diante desse cenário, este trabalho de conclusão de curso propõe o desenvolvimento de um protótipo, abordando, desde o projeto conceitual até a montagem do protótipo, capaz de realizar ensaios conforme os parâmetros normativos. O principal objetivo é a criação de uma alternativa de baixo custo que cumpra com os requisitos técnico normativos. O projeto abrange uma análise detalhada da norma ABNT NBR ISO 105-X12, além do projeto e dimensionamento dos componentes e sua posterior fabricação e montagem.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é realizar o projeto e manufatura de um protótipo do aparelho do tipo Crockmeter conforme os requisitos estabelecidos pela norma ABNT NBR ISO 105-X12.

2.1.1 Objetivos específicos

Para atender a proposta desse projeto, tem-se como objetivos específicos:

- Compreender os requisitos técnicos e funcionais definidos na norma ABNT NBR ISO 105-X12 para o ensaio de solidez da cor à fricção, com ênfase nos parâmetros operacionais do Crockmeter.
- Elaborar o planejamento do projeto do protótipo, aplicando ferramentas de desenvolvimento de produtos, como o design para manufatura (Design for Manufacturing).
- Elaborar o projeto mecânico do protótipo, incluindo o desenvolvimento de cálculos estruturais de sustentação, desenhos técnicos, seleção de materiais e componentes, e a definição dos métodos de acionamento e transmissão de movimento.
- Realizar a manufatura dos componentes por meio de operações de usinagem e conformação mecânica.
- Verificar a conformidade dimensional e funcional do aparelho com a norma ABNT NBR ISO 105-X12, por meio de testes experimentais e ajustes de projeto.
- Implementar a ABNT NBR ISO 105-X12 para realizar a coleta de dados do ensaio de solidez de cor à fricção, executando todos os procedimentos descritos no texto da norma com os corpos de prova e tecidos testemunha adequados.

3 JUSTIFICATIVA

A realização deste projeto se justifica pela importância dos ensaios de solidez de cor dentro do controle de qualidade da indústria têxtil. Esse tipo de teste garante que o tecido mantenha sua aparência e durabilidade após o uso e as lavagens, o que é essencial para a aceitação comercial do produto. O setor têxtil movimenta cerca de US\$ 2,1 trilhão por ano em todo o mundo com crescimento estimado para US\$ 4,0 trilhão no ano de 2034 (Precedence Research, 2025). Com destaque para China, Índia, Estados Unidos e países da União Europeia. No Brasil, a indústria representa aproximadamente 2% do PIB industrial e emprega mais de 1,3 milhão de pessoas, segundo a ABIT (2023).

Mesmo com essa relevância econômica, ainda há pouca oferta de equipamentos nacionais para esse tipo de ensaio. A maioria dos aparelhos como o Crockmeter são importados e possuem custo elevado, podendo ultrapassar R\$ 100.000 em equipamentos com motores elétricos e contadores de giro digitais, o que dificulta o acesso de universidades, centros de pesquisa e pequenas empresas. Durante a pesquisa, também foi observada a falta de modelos com especificações abertas ou adaptáveis às condições locais de fabricação.

Por isso, este trabalho busca desenvolver um protótipo de um Crockmeter de baixo custo e fácil construção, aproveitando os recursos disponíveis no ambiente acadêmico. A proposta é oferecer uma alternativa funcional que permita realizar os ensaios de fricção com confiabilidade, contribuindo para o desenvolvimento tecnológico e a possibilidade de desenvolvimento de um produto.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Essa seção tem como objetivo discutir os fundamentos teóricos, técnicos e normativos envolvidos no projeto do crockmeter, um equipamento que avalia a solidez de cor à fricção em materiais têxteis.

Inicialmente, serão abordados os conceitos de desgaste por fricção e abrasão, fundamentos e aplicações do ensaio de resistência de cor, com a introdução das normas que regem a execução do ensaio. Em seguida será apresentada a estrutura e funcionamento do crockmeter com base nas normas citadas anteriormente.

Por fim será realizado um benchmarking de soluções comerciais disponíveis atualmente, identificando características técnicas relevantes e oportunidades de melhoria no desenvolvimento do projeto próprio.

4.1 Tribologia aplicada a materiais têxteis

Segundo o Inmetro (2024) a tribologia é um campo de estudo da engenharia mecânica e de materiais que avalia o comportamento do atrito entre superfícies que operam em contato sob movimento relativo, causando assim o atrito.

No contexto dos materiais têxteis, segundo Gopalakrishnan, quando os materiais são processados, o atrito se desenvolve entre as fibras. As propriedades apresentadas pelos tecidos são conhecidas como propriedades friccionais e seu controle é de suma importância, pois tanto atrito muito alto quanto muito baixo não é bom para os fios. (Gopalakrishnan).

Para Limão (2017) a aplicação da tribologia em materiais têxteis apresenta uma significativa conexão com o conforto do produto final (roupa), já que as propriedades físicas dos tecidos estão intimamente relacionadas à sua superfície e propriedades de desgaste.

4.1.1 Desgaste de tecidos

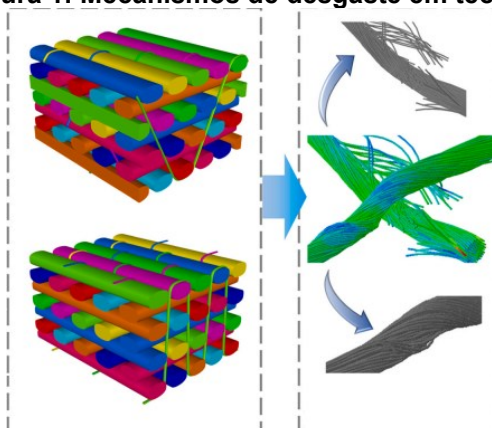
Para Čubrić (2024), as propriedades mecânicas dos materiais têxteis apresentam importância na determinação de seu conforto, funcionalidade, performance, segurança, estética e durabilidade. Dentre as propriedades mecânicas, é possível destacar a rugosidade superficial e a resistência a abrasão.

A rugosidade superficial está relacionada com as diferenças de altura na superfície do tecido e está diretamente associada a como o tecido é sentido no toque com a pele. A rugosidade superficial pode ser considerada como uma das principais características a serem avaliadas pelo cliente ao adquirir um produto têxtil (Čubrić, 2024). Chae et al (2022) aponta que níveis de rugosidade acima de 0,43 mm podem prejudicar os aspectos de coloração de produtos de algodão, causando assim uma percepção negativa no consumidor.

A resistência à abrasão é um dos principais parâmetros para a avaliação da durabilidade e desempenho de produtos têxteis durante o uso prolongado. Esse tipo de desgaste ocorre devido à fricção mecânica entre superfícies, que provoca a deterioração das fibras e fios constituintes do material. A avaliação da resistência à abrasão é essencial para garantir a qualidade do produto final em diferentes condições de uso. Diversos estudos têm sido conduzidos para analisar os efeitos de fatores como o tipo de fibra, composição do tecido e condições ambientais. (Čubrić, 2024)

Wang, Li, Krugl e Wang (2025) afirmam que o controle de danos em materiais fibrosos, como tecidos, é essencial durante as etapas de manufatura, para que os materiais mantenham suas propriedades. Os materiais têxteis sofrem danos em sua superfície devido ao esticamento e dobramento, causando assim uma perda nas propriedades mecânicas e danos na integridade da estrutura do tecido. A figura 1 ilustra os mecanismos de desgaste em tecidos.

Figura 1: Mecanismos de desgaste em tecidos



Fonte: Adaptado de Wang, Li, Krugl e Wang (2025)

4.2 Fundamentos de solidez de cor

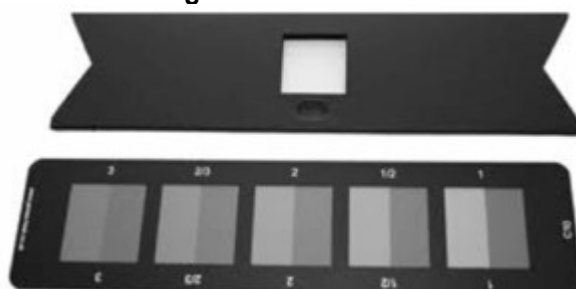
Segundo Kuramoto, Yoshihisa, Kitaguchi e Sato (2017) a qualidade da cor do tecido é uma das qualidades mais importantes na motivação de compra dos

consumidores, o que demonstra a importância do controle de qualidade em processos industriais de tingimento.

A norma ISO 105-A02 (2006) define a solidez de cor como a resistência da cor em tecidos aos diferentes agentes aos quais esses materiais são expostos durante a manufatura e uso subsequente, como uso cotidiano e até processos domésticos de lavagem, seja ela manual ou por meio de máquinas de lavar convencionais.

A solidez de cor é uma propriedade que pode ser quantificada por meios empíricos, para essa finalidade, é empregada uma ferramenta chamada escala cinza, ilustrada na figura 2, esse recurso é utilizado “para a determinação da alteração da cor de têxteis nos ensaios de solidez da cor e o seu uso” (ABNT NBR ISO 105-A02, 2006) e seu uso não é restrito ao ensaio de solidez de cor à fricção, podendo ser utilizado para realizar diversos ensaios de solidez de cor.

Figura 2: Escala cinza



Fonte: Texcontrol

O funcionamento da escala é definido pela norma NBR ISO 105-A02 como cinco pares de retângulos de cor cinza sem brilho. Esses pares de retângulos podem ser utilizados para criar duas escalas distintas, sendo a escala de 5 etapas (1, 2, 3, 4, 5) ou escala de 9 etapas (1, 1-2, 2, 2-3, 3, 3-4, 4, 4-5, 5), ambas as escalas possuem suas especificidades (ABNT ISO 105- A02).

A norma diz que, ao se empregar a escala de cinco etapas, o grau de solidez para alteração do corpo-de-prova é igual ao número da escala cinza que apresenta uma diferença da cor perceptível igual, em grandeza, à diferença da cor perceptível entre o retângulo original e os corpos-de-prova tratado. A escala de nove etapas possui o mesmo princípio de funcionamento, porém com um maior número de intervalos de solidez, assim permitindo uma análise mais precisa das diferenças perceptíveis entre os corpos-de-prova ensaiados e o material original (ABNT ISO 105-A12).

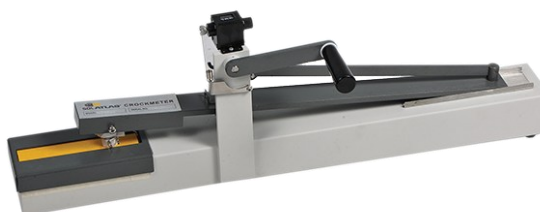
4.3 O ensaio de crocking

4.3.1 O conceito do ensaio

Segundo a norma NBR ISO 105-X12, o ensaio é realizado utilizando dois tecidos distintos, sendo eles um tecido de amostra (que vai ser avaliado) e um tecido testemunha padronizado, visando simular em laboratório o atrito realizado entre dois tecidos no dia a dia.

A simulação desse atrito ocorre por meio do crockmeter, esse equipamento foi desenvolvido para simular a fricção entre tecidos de forma controlada e padronizada com objetivo de determinar a solidez de cor à fricção. Seu funcionamento baseia-se em um sistema mecânico que realiza movimentos repetitivos de fricção entre um tecido colorido e o tecido testemunha, sob uma força normal constante que pode ter acionamento manual (via manivela) ou motorizado (ABNT NBR 8432, 1984). A figura 3 ilustra um modelo de crockmeter de acionamento manual.

Figura 3: Crockmeter de acionamento manual



Fonte: SDL Atlas

A figura 4 ilustra um crockmeter de acionamento via motor elétrico.

Figura 4: Crockmeter de acionamento elétrico

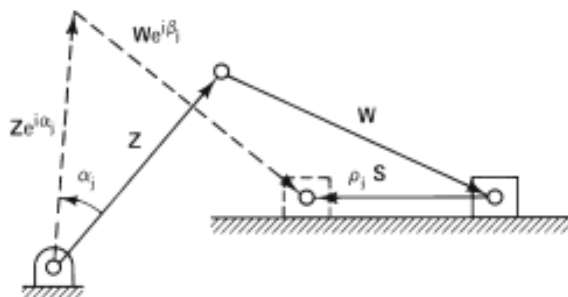


Fonte: SDL Atlas

A execução do ensaio utilizando o crockmeter se dá por meio do movimento repetido de vai e vem do braço móvel que está acoplado a uma manivela (ou motor

elétrico) de maneira semelhante à um mecanismo biela manivela (ABNT NBR ISO 105-X12, 2019), ilustrado na figura 5.

Figura 5: Mecanismo biela manivela



Fonte: Sandor e Erdman (1997)

O tecido testemunha é inserido no braço móvel em um cilindro com dimensões padronizadas e o material analisado permanece em repouso, fixo entre a base e uma chapa metálica, a figura 6 ilustra de maneira mais detalhada o equipamento.

Figura 6: Crockmeter do campus Apucarana



Fonte: Autoria própria (2024)

O movimento relativo entre ambos os tecidos em contato gera forças de atrito responsáveis por causar a degradação do corante e a determinação do grau de solidez de cor a fricção.

4.3.2 Requisitos técnicos do ensaio

O ensaio deve ser realizado seguindo alguns estabelecidos na ABNT NBR ISO 105-X12 a respeito do diâmetro do pino, da frequência de rotação e do curso do movimento, descritos na seção 4.3.2.1.

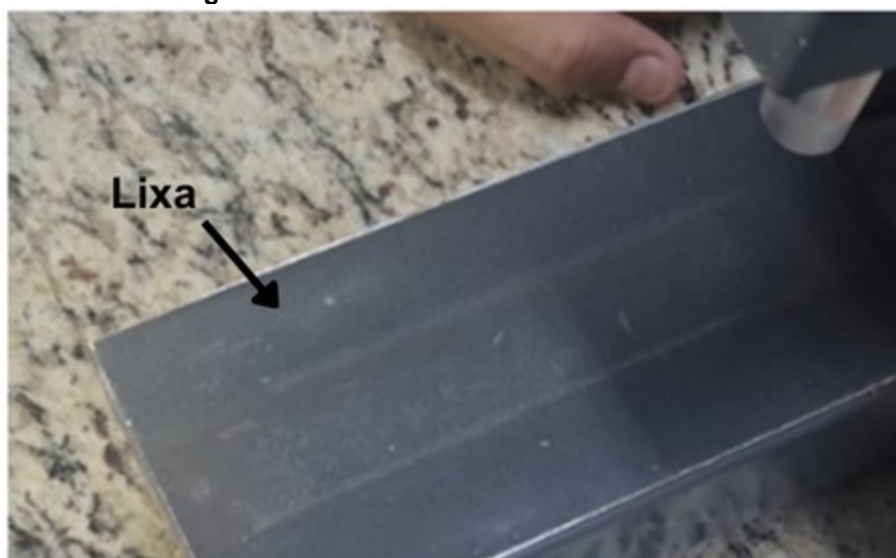
A norma prevê padrões para a aparelhagem, tecidos empregados, execução do ensaio e avaliação dos resultados, discutidas nas seções 4.3.2.2 a 4.3.3.4.

4.3.2.1 Aparelhagem do crockmeter

O aparelho de ensaio adequado para a determinação da solidez de cor à fricção deve ser capaz de efetuar movimentos de fricção linear de avanço e recuo. O pino de fricção circular deve possuir um diâmetro de $(16 \pm 0,1)$ mm e realizar movimentos em linha reta por meio de um percurso de (104 ± 3) mm de comprimento, exercendo uma força vertical para baixo de $(9 \pm 0,2)$ N (AATCC TM-8, 2005).

A base do aparelho precisa contar com uma lixa a prova d'água com dorso mole, com objetivo de garantir que a avaliação da transferência de cor entre os dois tecidos seja precisa, assegurando um ambiente de fricção controlada, além de auxiliar na redução do movimento do corpo de prova. A figura 7 ilustra a lixa fixada à base do aparelho.

Figura 7: Lixa fixada na base do crockmeter



Fonte: Autoria própria (2024)

Após a fixação dos materiais em seus respectivos destinos, o pino que contém o tecido testemunha deve ser abaixado até a altura em que toca o corpo de prova.

4.3.2.2 Execução do ensaio de crocking

A norma ISO (2019) diz que o ensaio deve ser executado realizando vinte rotações na manivela a um ritmo de uma rotação por segundo (1 Hz), após as vinte repetições, deve-se remover o tecido testemunha e realizar a inspeção visual em comparação com a escala cinza, para assim determinar o grau de solidez de cor à fricção.

Para fins de validação, devem ser realizados dois ensaios, chamados ensaio de abrasão a seco e ensaio de abrasão a úmido, de modo que o ensaio a úmido é realizado em tecidos testemunha após uma absorção de 95% a 100% da sua própria massa de água destilada. Após a realização do ensaio a úmido, os tecidos testemunha devem ser secados para a avaliação com a escala de transferência de cor (ISO, 2019).

4.3.2.3 Tecidos testemunha utilizados no crockmeter

Os tecidos testemunha são utilizados para a medição do grau de solidez de cor à fricção e serão utilizados para a comparação com a escala de cinza. Os tecidos devem ser fabricados em algodão branco desengomado, alvejado e sem acabamento. As amostras de tecido devem possuir dimensões padronizadas em quadrados de (50 ± 2) mm de lado e devem ser fixadas ao pino cilíndrico por meio de abraçadeiras, ilustradas na figura 8 juntamente com uma amostra de tecido testemunha.

Figura 8: Abraçadeiras e tecido testemunha



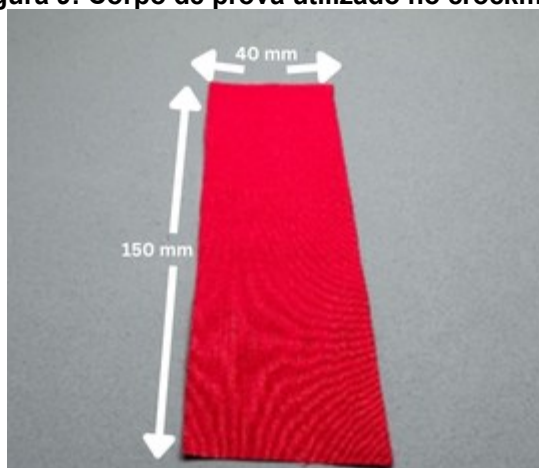
Fonte: A autoria própria (2024)

4.3.2.4 Corpos de prova do ensaio de solidez de cor

A norma determina que os tecidos devem possuir a dimensão mínima de 50 mm x 140 mm e a direção de maior dimensão deve estar alinhada ao eixo longitudinal do aparelho crockmeter.

Os corpos de prova devem ser condicionados à atmosfera padrão (Conforme ABNT NBR ISO 139) por no mínimo quatro horas antes do ensaio, sendo que materiais como algodão e lã podem demandar um maior período de condicionamento. A figura 9 ilustra um exemplo de corpo de prova utilizado para a realização de ensaios de solidez de cor à fricção.

Figura 9: Corpo de prova utilizado no crockmeter



Fonte: Autoria própria (2025)

4.3.3 Normas aplicadas na execução do ensaio

Atualmente existem diversas normas que regem o funcionamento do ensaio de solidez de cor à fricção no âmbito internacional, sendo possível citar principalmente as normas internacionais ISO (ABNT ISO) citadas anteriormente, além de normas estrangeiras como a americana ASTM D6279, as normas britânicas BS 1006 e 4655, as normas chinesas GB /T3920 e GB /T5712 e normas criadas pela Associação Americana de Químicos e Coloristas Têxteis (AATCC), a exemplo das normas AATCC8 e AATCC165 por motivos de simplicidade e possibilidade de validação nacional, todas as informações necessárias para o projeto e fabricação da máquina e execução do ensaio (discutidas na seção 4.3.2) foram extraídas da ABNT ISO 105-X12, pois muitas das informações são redundantes entre as normas citadas.

4.3.4 Processos de fabricação do crockmeter

A fabricação de componentes mecânicos exige a seleção criteriosa de processos de manufatura que garantam funcionalidade adequada e precisão dimensional das peças, além de viabilidade econômica e a facilidade de montagem. No caso do Crockmeter, as peças que foram fabricadas na universidade são, em sua maioria, componentes metálicos e poliméricos com geometria simples, mas que exigem ajustes precisos que garantam repetibilidade no movimento.

Durante a fabricação do crockmeter, os principais processos de fabricação envolvidos são corte, furação, torneamento, fresamento e soldagem.

4.3.4.1 Conceitos de *Design For Manufacture and Assembly* (DFMA)

Segundo Bralla (1998), o custo unitário de produção de um produto está diretamente relacionado a complexidade do design, de modo que, quanto mais complicadas as geometrias, especificações de tolerância ou de acabamento superficial, maiores as margens para erro, necessidade de retrabalho e consumo de tempo durante o processo produtivo.

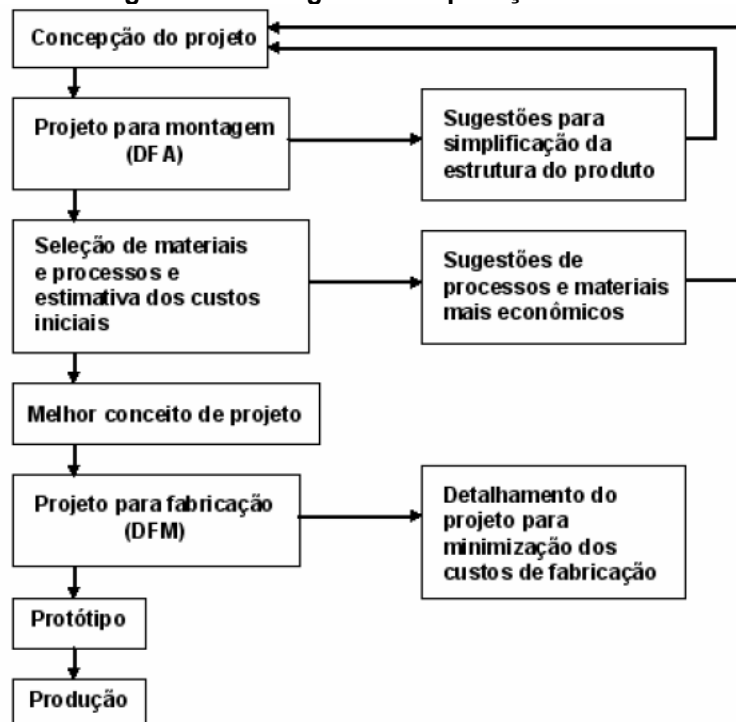
Para reduzir os custos unitários de produção sem prejudicar a funcionalidade e qualidade do produto, os conceitos de DFMA foram introduzidos durante os anos 80 juntamente com a popularização da modelagem CAD, as maiores vantagens da aplicação do DFMA está na redução no número de peças, melhoria na capacidade de fabricação e facilidade no processo de montagem (Naiju, 2021). O DFMA foi concebido como dois conceitos separados, sendo eles o Design For Manufacturing (DFM) e o Design For Assembly (DFA) que posteriormente foram englobados pela engenharia do produto.

Segundo Naiju (2021), o DFMA pode ser implementado utilizando três passos, sendo eles:

- Analisar o número de peças do produto e sua montagem
- Alterar o projeto para reduzir o número de componentes
- Simplificar o formato dos componentes utilizando padrões

A figura 10 ilustra um fluxograma do processo de aplicação de DFMA no desenvolvimento de um produto.

Figura 10: Fluxograma da aplicação de DFMA



Fonte: Boothroyd, Dewhurst e Knight (1994)

A metodologia DFM, segundo Boothroyd, Dewhurst e Knight (2011), orienta o projeto para facilitar a fabricação, reduzindo o número de etapas e a complexidade das peças. Já o DFA tem como objetivo reduzir o número de etapas de montagem e também a complexidade das montagens executadas.

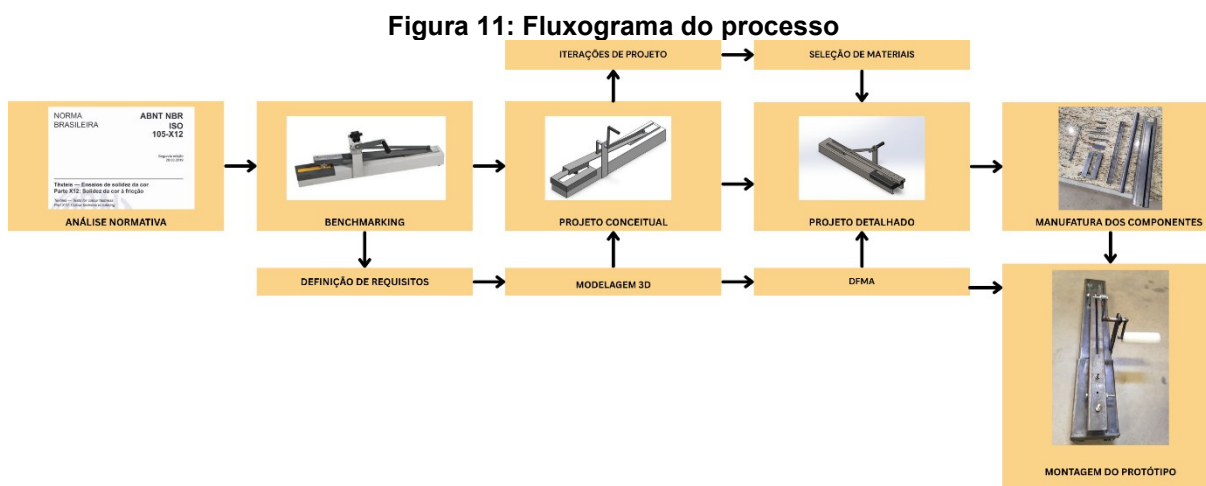
5 MATERIAIS E MÉTODOS

Esta seção foi dividida em quatro etapas principais: análise normativa, definição de parâmetros operacionais, desenvolvimento do projeto mecânico com cálculos para garantir a sustentação estrutural e fabricação do aparelho do tipo Crockmeter, conforme os requisitos estabelecidos pela ABNT NBR ISO 105-X12: Têxteis – Determinação da solidez da cor à fricção.

Na análise normativa, foram definidos os requisitos técnicos, também foi realizado um benchmarking para analisar soluções disponíveis. O projeto mecânico contemplou as etapas de planejamento, cálculos estruturais para garantir a sustentação aos esforços nos apoios devido ao torque manual, modelagem e elaboração de desenhos técnicos. Nessa fase, foram aplicados os princípios de Design for Manufacturing and Assembly (DFMA) nas decisões de projeto, que priorizaram o uso de chapas cortadas e dobradas para substituir os componentes usinados, reduzindo o número de operações e o custo de fabricação. “Um projetista competente deve ser familiarizado com os processos de fabricação para evitar custos desnecessários durante a fabricação”. (BOOTHROYD, 2011)

A fabricação englobou um mapeamento dos recursos disponíveis, a seleção dos materiais e métodos empregados, a manufatura e a montagem. O fluxograma da figura 11 ilustra todas as etapas principais do projeto do crockmeter.

O processo de projeto e manufatura de uma máquina envolve diversos fatores que devem ser considerados de maneira simultânea, como a viabilidade do projeto e da manufatura. Norton define que um projeto de engenharia é dimensionar, dar forma às peças e escolher os materiais e os processos de manufatura apropriados, de modo que a máquina resultante possa desempenhar a função desejada sem falhar (NORTON, 2013).



Fonte: Autoria própria (2025)

5.1 Análise da norma técnica

Foi realizado um estudo na ABNT NBR ISO 105-X12, considerando todos os aspectos técnicos e funcionais exigidos no ensaio de solidez de cor à fricção. A partir do texto da norma foi possível extrair informações a respeito do movimento de fricção, incluindo amplitude e pressão aplicada, além das dimensões e materiais utilizados na construção do aparelho de testes.

Houve uma pesquisa realizada via internet sobre fabricantes e modelos de crockmeter disponíveis no mercado, incluindo vídeos demonstrando o funcionamento do ensaio e manuais de instrução do aparelho. Importunamente, existem poucas informações disponíveis a respeito das soluções comerciais, isso se deve ao fato de que a máquina é produzida por um pequeno e seletivo grupo de empresas que não têm interesse em divulgar as informações técnicas por fins comerciais, com objetivo de reduzir concorrência e manter o valor do equipamento elevado.

5.2 Ferramentas de desenvolvimento de produto

O projeto e a fabricação do Crockmeter foram conduzidos com base em três abordagens complementares de engenharia: Design In Process (DIP), Design for Manufacturing (DFM) e Design for Assembly (DFA). A adoção dessas metodologias teve como objetivo principal adaptar o projeto às condições reais de manufatura e montagem (com base na infraestrutura disponível), reduzindo custos e aumentando a eficiência do processo.

O DIP foi aplicado desde o início do desenvolvimento, considerando os recursos e limitações do ambiente onde o equipamento seria produzido. Essa

abordagem, conforme Pahl e Beitz (2007), favorece a integração entre o projeto e os processos de fabricação, permitindo antecipar restrições técnicas e evitar soluções incompatíveis com a infraestrutura disponível. No caso do *Crockmeter*, evitou-se o uso de componentes de geometrias complexas que exigissem usinagem CNC ou processos especiais, priorizando componentes simples, compatíveis com tornos e fresadoras convencionais.

No desenvolvimento do equipamento, peças com usinagem desnecessária foram substituídas por chapas cortadas a laser e dobradas, e sempre que possível optou-se por componentes normalizados, como parafusos e outros elementos disponíveis no mercado. Essas decisões permitiram fabricar o protótipo com menor custo e maior rapidez.

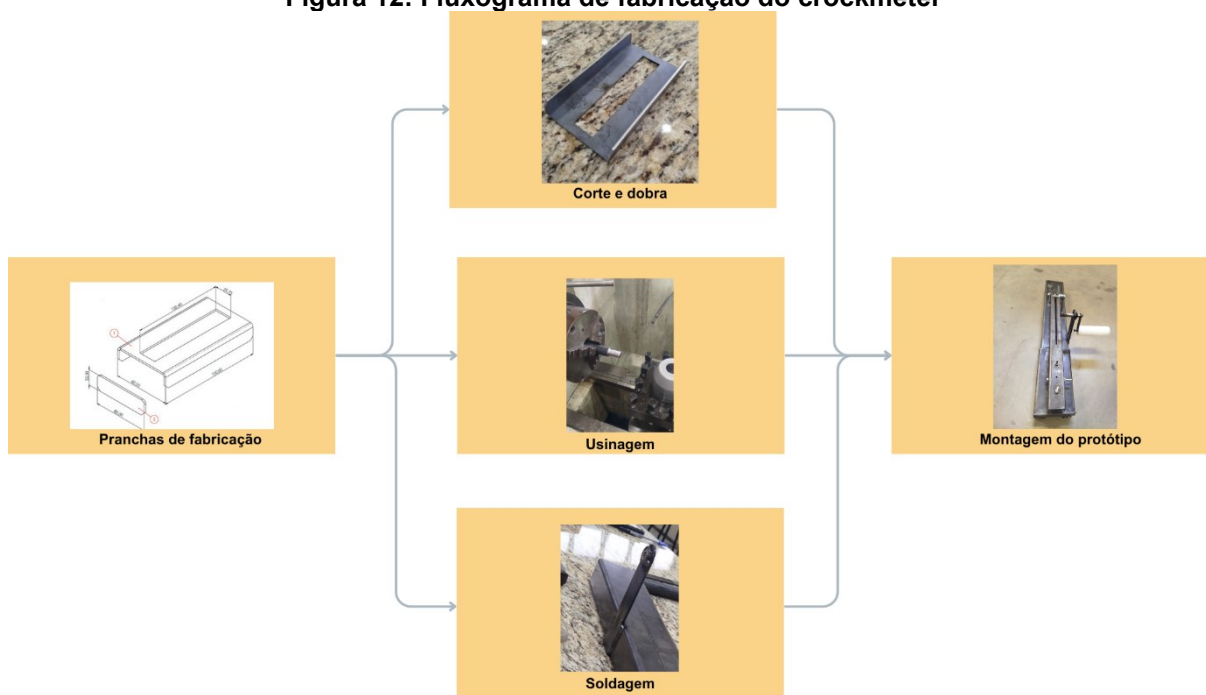
Já os princípios de DFA, descritos por Ulrich e Eppinger (2015), foram aplicados para tornar a montagem do *Crockmeter* mais rápida e precisa. As peças foram projetadas para se encaixarem com facilidade, evitando a necessidade de ajustes manuais ou ferramentas específicas. Além disso, a padronização dos elementos de fixação reduziu a variedade de componentes e o risco de erros durante a montagem.

Essas três abordagens, discutidas na seção 4.3.4 permitiram desenvolver um equipamento funcional, de baixo custo e com montagem simplificada, atendendo aos requisitos técnicos do projeto.

5.3 Planejamento de desenvolvimento do protótipo

A partir das pranchas de fabricação geradas em ambiente computacional, foi elaborado o planejamento de manufatura dos componentes do aparelho *Crockmeter*. Essa etapa teve como objetivo definir a sequência das operações e os processos necessários para a obtenção do protótipo, considerando as restrições de tempo, orçamento e infraestrutura disponíveis no ambiente acadêmico. A figura 12 ilustra o fluxograma de fabricação do protótipo.

Figura 12: Fluxograma de fabricação do crockmeter



Fonte: A autoria própria (2025)

Segundo Umetsu e Miyazawa (2001), o planejamento de processos descreve todas as etapas envolvidas na transformação da matéria-prima em produto finalizado. No contexto deste trabalho, o planejamento concentrou-se na elaboração da lista de materiais, na definição dos processos de fabricação aplicáveis e na organização do cronograma de execução.

A lista de materiais foi elaborada com base no modelo tridimensional desenvolvido no *SolidWorks*, contendo a descrição das peças, materiais, dimensões e quantidades correspondentes. Esse documento serviu como referência para a aquisição de componentes padronizados e para o controle das etapas de manufatura.

Durante o planejamento, verificou-se que a universidade não dispõe de toda a infraestrutura necessária para a execução completa do processo produtivo. Em especial, o campus não possui máquinas de corte a laser nem equipamentos de dobra metálica, o que inviabilizou a fabricação interna de determinadas peças estruturais. Dessa forma, os componentes em chapa metálica foram produzidos externamente por uma metalúrgica local, enquanto as peças usinadas foram fabricadas no Laboratório de Manufatura Mecânica da UTFPR – Campus Londrina, utilizando torno e fresadora.

As restrições orçamentárias também limitaram a aquisição de materiais e componentes de maior qualidade, exigindo adaptações no projeto para viabilizar sua execução dentro das condições disponíveis. Assim, o planejamento priorizou soluções

de baixo custo, simplicidade construtiva e o aproveitamento máximo dos recursos existentes.

Após a fabricação e aquisição dos componentes, foi realizada a inspeção dimensional básica das peças, assegurando que as principais dimensões estejam de acordo com as pranchas de fabricação. Em seguida, o conjunto foi preparado para a montagem do aparelho conforme o modelo tridimensional desenvolvido. O cronograma de desenvolvimento do protótipo encontra-se ilustrado na figura 13.

Figura 13: Cronograma de planejamento de desenvolvimento do produto

ITEM	ANO MES	2025				2025				2025				2025							
		JUNHO				JULHO				AGOSTO				SETEMBRO				OUTUBRO			
SEMANA		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Análise normativa	x	x																		
2	Pesquisa comercial		x	x																	
3	Definição de requisitos de projeto			x	x																
4	Elaboração de projeto conceitual					x	x	x													
5	Otimizações de projeto							x	x	x	x	x									
6	Elaboração de projeto detalhado										x	x	x								
7	Manufatura dos componentes												x	x	x	x	x				
8	Montagem dos componentes																	x	x	x	
9	Testes preliminares																			x	x

Fonte: Autoria própria (2025)

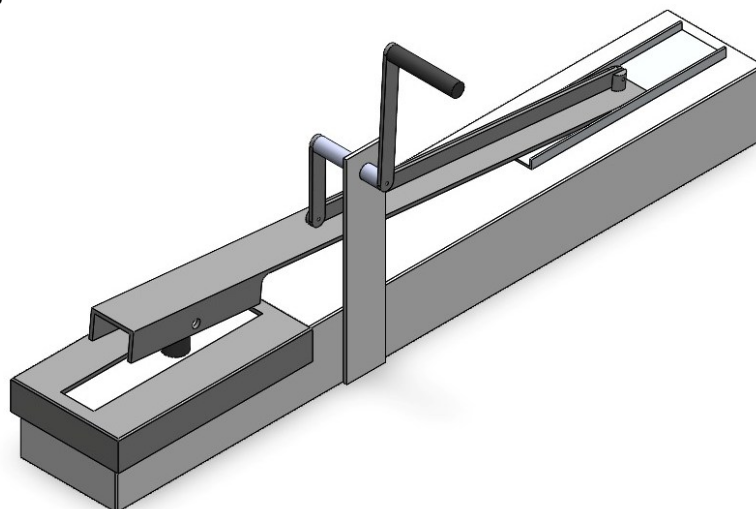
5.4 Projeto conceitual

O projeto conceitual do crockmeter foi realizado utilizando o *SolidWorks* e seus recursos básicos, como a criação de esboços em planos, extrusões, revoluções e recursos de montagem dos componentes da máquina. O programa também foi utilizado para a criação de pranchas de fabricação de cada uma das peças a serem manufaturadas na universidade.

A execução do projeto considerou principalmente os recursos disponíveis na universidade, como as matérias primas (blocos, chapas e tarugos metálicos) e as máquinas do laboratório do bloco R, como tornos mecânicos, fresadoras, furadeiras e máquinas de solda. O principal critério de projeto adotado foi a simplicidade para manufaturar as peças e realizar a montagem da máquina, pois os recursos eram limitados, entretanto, a reprodutibilidade dos ensaios e padronização dos resultados foi considerada durante todas as etapas do projeto.

Foram adotadas algumas soluções de projeto com o objetivo de garantir a padronização dos resultados, como uma base sólida maciça, elos com geometrias simples e fabricados com chapas metálicas e a adoção de elementos para reduzir o atrito entre as partes móveis, como rolamentos, espaçadores e buchas. A vista isométrica do modelo 3D está ilustrada na figura 14.

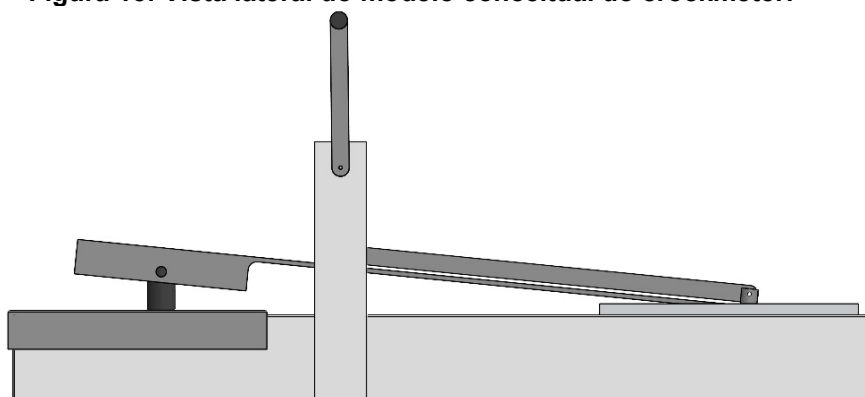
Figura 14: Vista isométrica do modelo conceitual do crockmeter.



Fonte: Autoria própria, 2025

A figura 15 ilustra a vista lateral do modelo 3D do projeto conceitual.

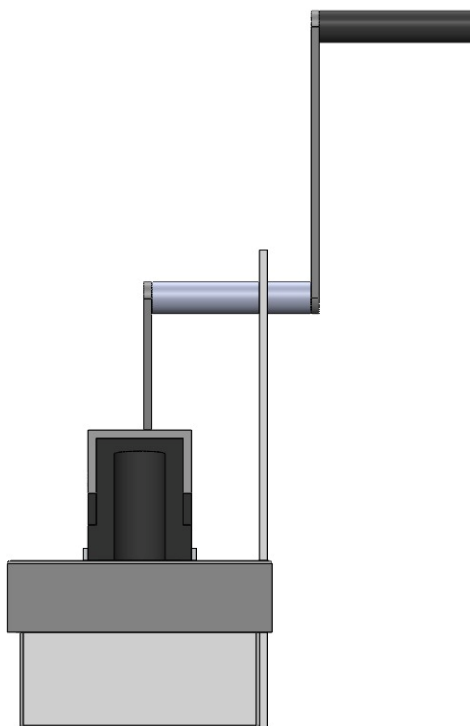
Figura 15: Vista lateral do modelo conceitual do crockmeter.



Fonte: Autoria própria, 2025

A figura 16 ilustra a vista frontal do modelo 3D do crockmeter.

Figura 16: Vista frontal do modelo conceitual do crockmeter.



Fonte: Autoria própria, 2025

5.5 Projeto detalhado

5.5.1 Considerações iniciais e etapas de projeto

A presente seção tem como objetivo relatar as etapas do desenvolvimento do produto e exibir os resultados a partir de recursos visuais (imagens do projeto e fotografias dos componentes). O desenvolvimento do modelo 3D e das pranchas de fabricação ocorreu com auxílio computacional e foi executado considerando os recursos disponíveis, no que diz respeito à maquinário, matérias primas e recursos financeiros.

O desenvolvimento do crockmeter teve como base o projeto conceitual, porém foram adotadas algumas alterações para o projeto detalhado, com objetivo de garantir mais estabilidade no movimento, praticabilidade e redução no custo de fabricação. Os principais materiais e recursos utilizados no projeto e manufatura serão descritos detalhadamente na seção 5.6.2.

A principal alteração construtiva do dispositivo foi a substituição da base, devido à indisponibilidade de materiais base nas dimensões especificadas, essa alteração será avaliada mais detalhadamente na seção 5.5.3.1

5.5.2 Seleção de materiais

A seleção de materiais para a composição do Crockmeter considerou fatores como a praticidade de montagem, a usinabilidade, a soldabilidade e o custo de aquisição como fatores importantes para a tomada de decisões, dessa maneira, a solução encontrada para garantir um custo de protótipo viável foi a adoção de chapas de aço SAE 1020 como material construtivo das principais peças que compõem o aparelho, como a base de sustentação e os diversos elos (ou braços) do mecanismo, entre outros.

O uso de chapas metálicas dobradas na concepção do projeto foi de suma importância para garantir a viabilidade financeira do projeto, pois, segundo Bitzel (1996), o emprego de chapas metálicas em projetos mecânicos revela-se vantajoso, por permitir a conformação de formas diversas com baixo custo de fabricação, fruto da facilidade de corte, dobra e conformação típicas desse tipo de material.

As chapas empregadas seguem os padrões descritos na ASTM A36 ou sua equivalente brasileira, a ABNT NBR 7007, que trata sobre propriedades mecânicas e composição química de aços-carbono e micro ligados para uso estrutural geral. As espessuras são padronizadas de acordo com a norma internacional MSG (Manufacturer's Standard Gauge) que especifica dimensões e bitolas (ou gauge) para chapas, a norma MSG especifica a espessura e estima a massa por metro quadrado. A escala de bitolas MSG é decrescente, de modo que uma chapa 26 seja mais fina que uma chapa 18. Todas as chapas utilizadas no projeto e manufatura do aparelho possuem espessuras de 2,00 e 3,00 milímetros, correspondentes às bitolas 14 e 11, respectivamente. Devido ao fato de o material ter sido de fornecimento da metalúrgica, não foi possível registrar visualmente as chapas empregadas nas operações de corte e dobra antes dessas operações.

Houveram algumas peças manufaturadas na Universidade com auxílio do maquinário do bloco R, dentre elas, é possível citar o pino de fricção, o eixo de rotação da manivela, a manivela em si e a soldagem da tampa do tecido e dos trilhos.

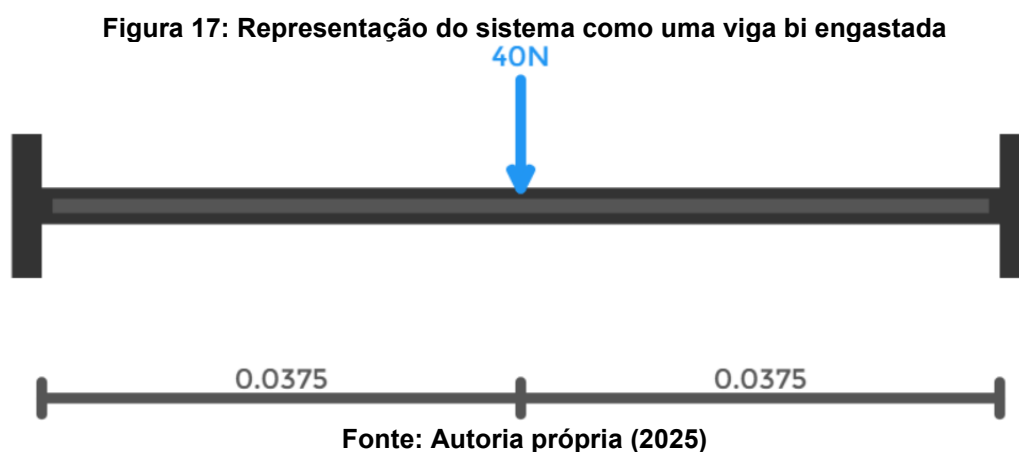
As principais máquinas utilizadas para a fabricação foram o torno mecânico convencional, a fresadora vertical convencional, o equipamento de soldagem MIG/MAG e o esmeril de bancada, para fins de acabamento superficial,

5.5.3 Memorial de cálculo para validação dos materiais empregados

Para garantir o funcionamento adequado do crockmeter, é necessária a verificação estrutural do mecanismo, de modo a validar os materiais empregados em sua construção. Por se tratar de um aparelho sujeito a esforços de baixa magnitude, como o próprio peso, uma força vertical de 9 N para baixo e um acionamento de torque manual, não é necessária a dedicação de recursos avançados. Tal afirmativa não apresenta risco de comprometer a integridade de sua estrutura, pois todo o desenvolvimento do projeto mecânico foi pautado com base em um reprojeto de um produto existente, ilustrado na figura 3.

A adoção de uma base construída a partir de chapas metálicas é uma alteração em relação ao produto existente no mercado, portanto é necessário realizar uma análise de ordem de grandezas para determinar se tal decisão não compromete o funcionamento adequado do crockmeter.

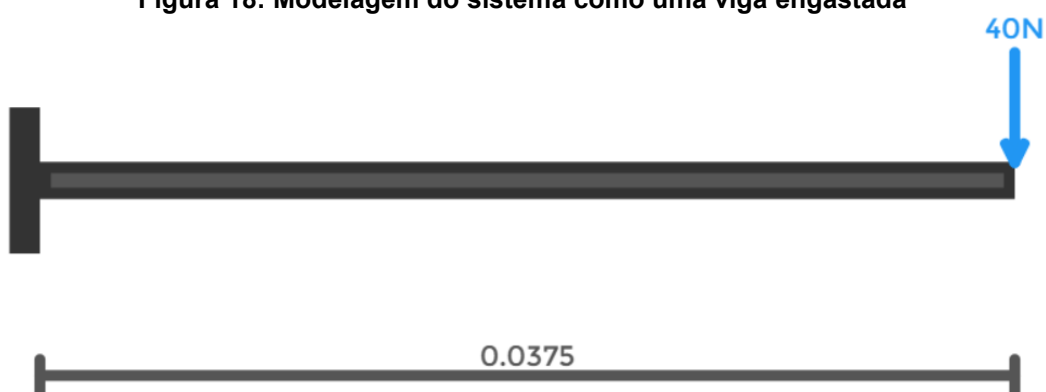
Tendo como base o fato de que todos os braços, pinos, trilhos e eixos, elementos posicionados em cima da base na montagem, possuem um somatório de massas de aproximadamente 3,5 kg e a base possui uma largura de 75 mm, é possível modelar o sistema como uma viga bi engastada com uma carga pontual de 35 N aplicada no comprimento intermediário da viga (37,5 mm) conforme figura 17, com cotas em metros para garantir conformidade com as grandezas do sistema internacional de unidades.



A aplicação de tais considerações representa um caso mais crítico quando comparado ao sistema real, em que as cargas estão distribuídas ao longo do comprimento e largura da viga, porém o dimensionamento foi realizado dessa maneira considerando a baixa magnitude dos esforços e ainda sim garantindo a validação.

O modelo ilustrado na figura 17 representa uma viga bi engastada e a resolução desse problema por meio de métodos analíticos resulta em um problema estaticamente indeterminado. Porém, é possível realizar uma simplificação no sistema, pois se trata de um problema simétrico, que pode ser modelado como uma viga engastada com o esforço aplicado em sua extremidade (37,5 mm), conforme ilustrado na figura 18.

Figura 18: Modelagem do sistema como uma viga engastada



Fonte: Autoria própria (2025)

O momento fletor que atua na viga pode ser calculado com a equação 1, em que F é a força em Newtons e L é o comprimento da viga.

$$M = F \cdot L \quad (1)$$

Resultando em um momento de 1,5 N·m. A tensão devido a um momento fletor é calculada por meio da equação 2.

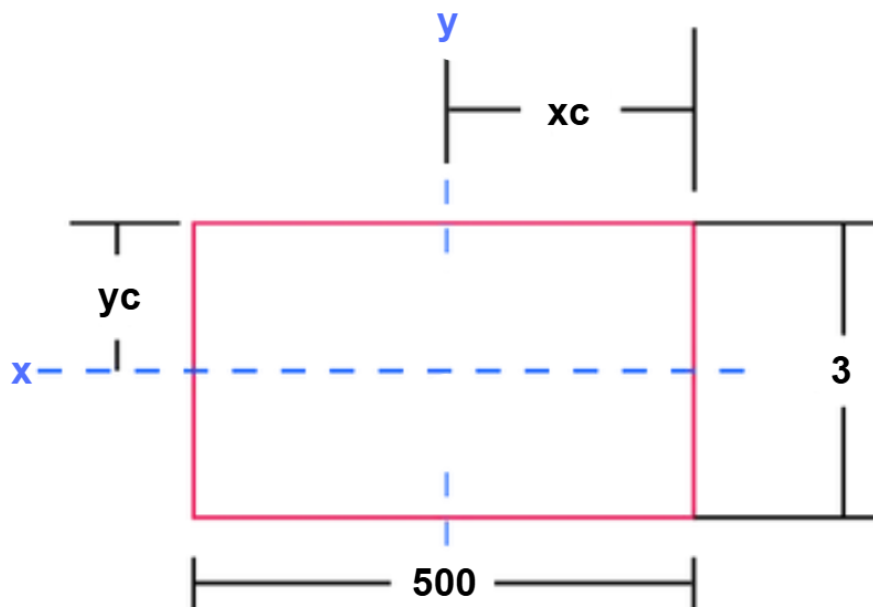
$$\sigma = \frac{M \cdot c}{I} \quad (2)$$

onde:

- σ – Tensão de flexão (em pascals ou newtons por metro quadrado) que a viga sofre a uma distância c do eixo neutro;
- M – Momento fletor aplicado à viga, em newton-metros (N·m);
- c – Distância perpendicular de um ponto da seção transversal da viga até o eixo neutro, em metros (m);
- I – Momento de inércia da área da viga, em metros à quarta (m^4).

A seção transversal está ilustrada na figura 19.

Figura 19: Seção transversal da chapa da base



Fonte: Autoria própria (2025)

O momento de inércia da seção é calculado a partir da equação 3

$$I = \frac{b \cdot d^3}{12} \quad (3)$$

onde:

- b – Largura da seção quadrada, em metros (m);
- d – Altura da seção quadrada, em metros (m).

Realizando os cálculos das equações 3 e posteriormente 2, foi obtido o valor de tensão de flexão $\sigma = 2$ Mpa.

Para garantir que não haverá falha do material, é necessário realizar o cálculo do coeficiente de segurança (N) para o ponto crítico da chapa, dado por:

$$N = \frac{\sigma}{S_y} \quad (4)$$

Onde S_y é a tensão de escoamento do material. A figura 20 ilustra um recorte de uma tabela de propriedades dos materiais onde está informada a tensão de escoamento de aços carbono SAE.

Figura 20: Tensão de escoamento do material empregado

Tabela A-9 Propriedades mecânicas de alguns aços-carbono
Dados de várias fontes. * Valores aproximados. Consulte os fabricantes de materiais para informações mais pr

Número SAE / AISI	Condição	Resistência de escoamento em tração (0,2% de deformação)		Resistência máxima em tração	
		kpsi	MPa	kpsi	MPa
1010	laminado a quente	26	179	47	324
	laminado a frio	44	303	53	365
1020	laminado a quente	30	207	55	379
	laminado a frio	57	393	68	469
1030	laminado a quente	38	259	68	469
	normalizado a 1650°F	50	345	75	517
	laminado a frio	64	441	76	524
	temperado e revenido a 1000°F	75	517	97	669
	temperado e revenido a 800°F	84	579	106	731
	temperado e revenido a 400°F	94	648	123	848

Fonte: Adaptado de Norton (2013)

Ao substituir os valores para a tensão de escoamento conforme a figura 20 e a tensão de flexão calculada com a equação 2, obtém-se o valor do coeficiente de segurança para o caso de flexão no sentido de largura da chapa com aplicação de carga pontual, no valor $N=103,5$.

O valor demonstra que a estrutura da base, bem como todos os outros subsistemas, atende aos critérios estruturais estabelecidos e não irão se deformar durante o uso. O critério fora atendido com grande segurança, visto que o valor da tensão que o material experiencia corresponde a cerca de 0,96% da capacidade do material construtivo de suportar tensões sem experienciar escoamento.

5.5.4 Descrição dos principais componentes

5.5.4.1 Base da estrutura

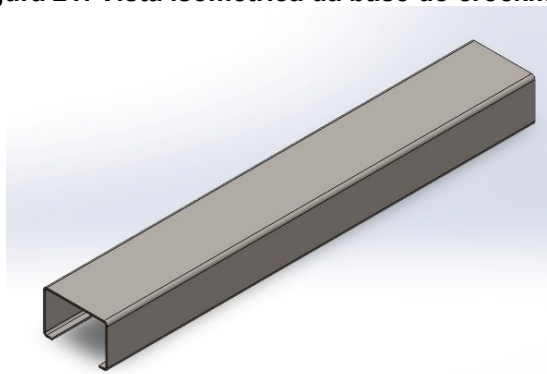
A base da estrutura foi dimensionada conforme informações de fabricantes e medições no equipamento disponível no Campus Apucarana, porém, com objetivo de aplicar os conceitos de DFMA para reduzir o custo de produção do aparelho, a base sólida fora substituída por uma chapa de aço carbono, cortada a laser e posteriormente conformada por dobramento. A partir dessa substituição, foi possível

reduzir expressivamente o peso da estrutura, implicando diretamente em uma maior facilidade na operação, manufatura e transporte do aparelho.

Por se tratar de um aparelho sujeito à esforços de baixa magnitude, como um torque de acionamento manual e uma força vertical para baixo de 9 N, foi estimado que a substituição na base não vá implicar no desempenho e confiabilidade do aparelho.

Para garantir estabilidade contra esforços de flexão e vibrações, foram adotadas chapas laminadas a quente de 3,00 mm de espessura (Bitola MSG 11). A figura 21 ilustra do modelo 3D desenvolvido da base.

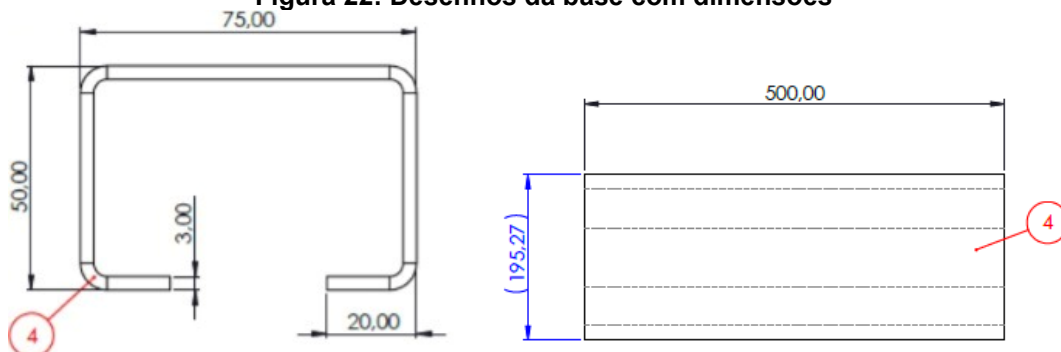
Figura 21: Vista isométrica da base do crockmeter



Fonte: Autoria própria (2025)

Após a criação do modelo 3D, foi necessário emitir as pranchas de fabricação para que seja possível dimensionar os cortes e dobras necessários, recortes das vistas frontais e do blank (chapa base) encontram-se na figura 22.

Figura 22: Desenhos da base com dimensões



Fonte: Autoria própria (2025)

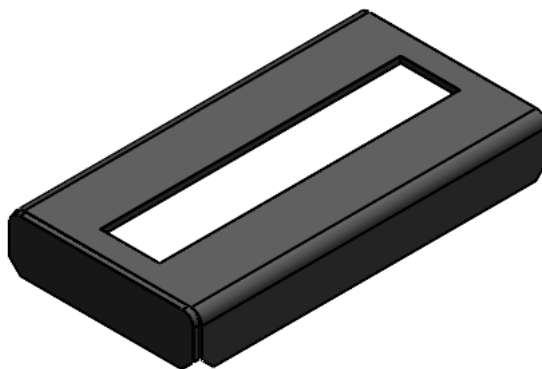
5.5.4.2 Tampa de suporte do tecido

O aparelho possui uma espécie de tampa, que possui a função de impedir o movimento relativo entre o tecido e a base durante a execução do ensaio, mas de

modo a possibilitar o movimento de vaivém do pino de atrito, conforme é possível observar nas figuras 3, 4 e 6.

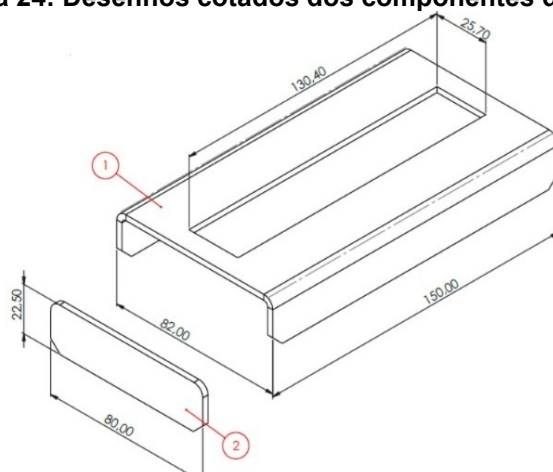
O projeto da tampa seguiu o mesmo padrão da base, fundamentado em chapas de aço SAE 1020 laminadas a quente, com espessura de 2,00 mm (Bitola MSG 14). A figura 23 ilustra o modelo 3D desenvolvido para a tampa de suporte.

Figura 23: Modelo 3D da tampa



Fonte: Autoria própria

O projeto da tampa estabeleceu que, devido às limitações geométricas, essa fora fabricada a partir de duas chapas distintas, cortadas na dimensão adequada, dobradas quando aplicável e soldadas, para assegurar travamento adequado. A figura 24 ilustra os desenhos com dimensões dos componentes da tampa.

Figura 24: Desenhos cotados dos componentes da tampa

Fonte: Autoria própria (2025)

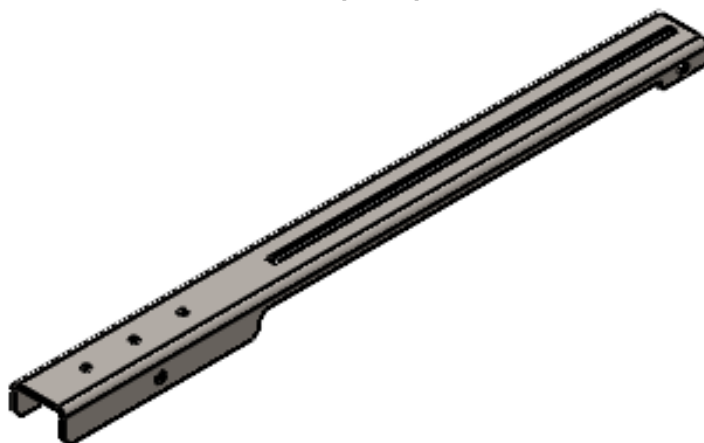
5.5.4.3 Braço principal e demais braços móveis

O denominado braço principal é o responsável por sustentar o pino cilíndrico, realizar a força vertical sobre o tecido, além de ser um dos elos móveis do mecanismo, tendo assim grande importância para o funcionamento do crockmeter.

O mecanismo responsável pelo movimento de vaivém possui outros três braços de geometria semelhante, sendo dois deles idênticos e um com dimensões diferentes. Esses braços e suas juntas possuem a função de converter o movimento rotacional da alavanca em movimento linear de vaivém no pino.

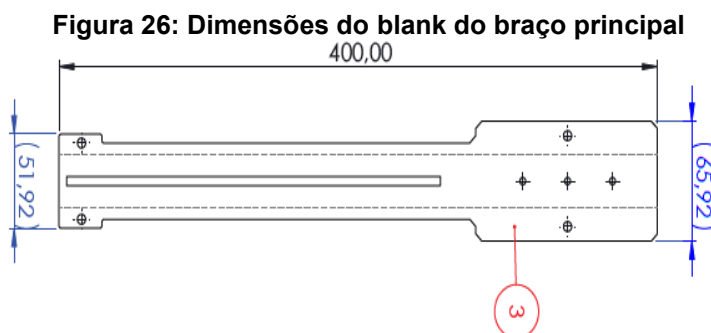
O projeto do braço principal do movimento precisou considerar o curso requerido de 104 mm, a função de suportar o pino e o peso responsável pela força vertical. O braço foi projetado tendo como matéria prima chapas de 2,00 mm (MSG 14), com dobras que permitem o suporte do pino, e um rasgo para permitir a rotação do mecanismo. A figura 25 ilustra o modelo 3D desenvolvido, onde os furos laterais possuem a função de sustentar o pino e os furos na face superior possuem a função de suportar o peso de calibração.

Figura 25: Vista isométrica do braço principal do mecanismo do crockmeter.



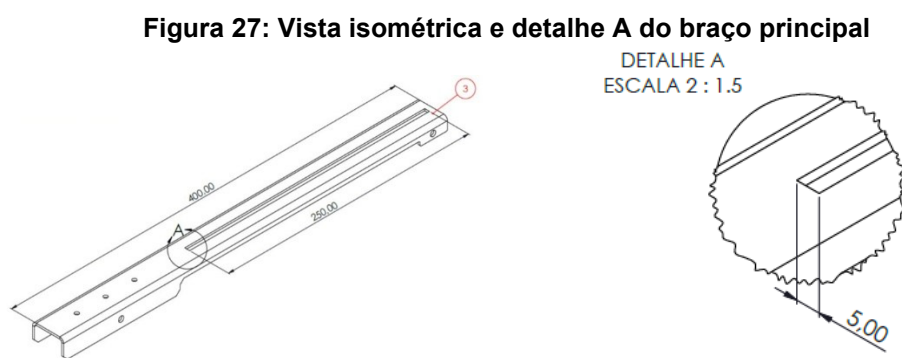
Fonte: Autoria própria (2025)

A figura 26 ilustra a vista superior do braço principal do mecanismo.



Fonte: Autoria própria (2025)

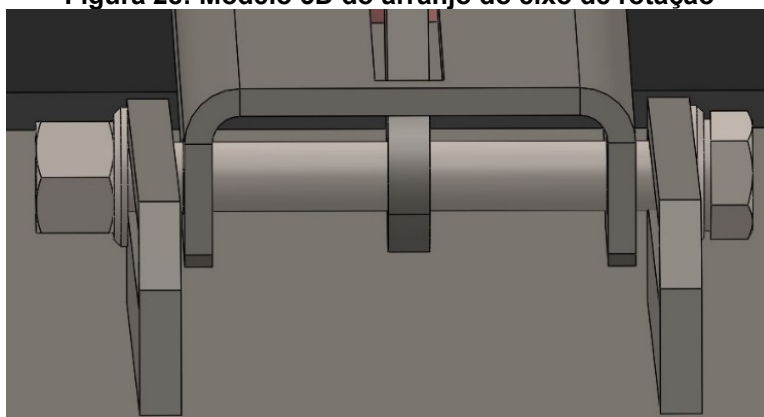
A figura 27 ilustra os detalhes do canal do braço principal e as dobras a serem executadas.



Fonte: Autoria própria (2025)

A rotação do braço principal em relação ao seu eixo ocorre por meio de um parafuso métrico M5 de rosca parcial, que atua como eixo de rotação. O arranjo está ilustrado na figura 28.

Figura 28: Modelo 3D do arranjo do eixo de rotação

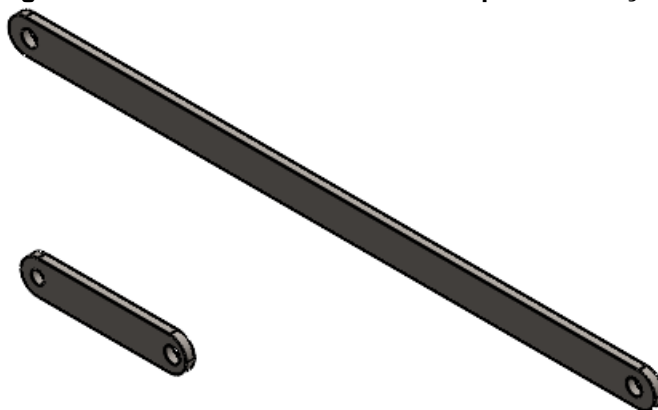


Fonte: Autoria própria (2025)

Os outros três braços que compõem o mecanismo do aparelho possuem geometria simples, porém dimensões precisas, para que o movimento ocorra de maneira adequada. Dentre os três braços, dois braços menores possuem as mesmas dimensões e um outro braço, denominado braço maior.

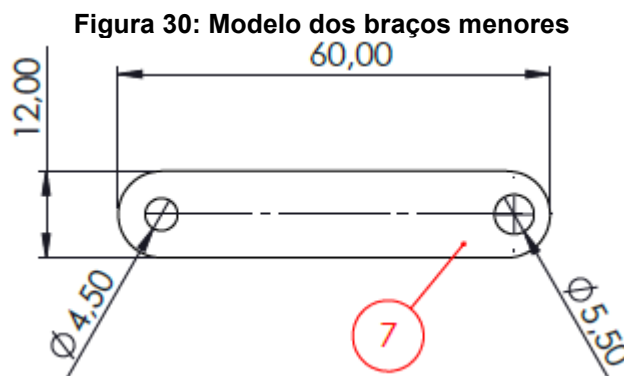
A matéria prima dos braços seguiu o mesmo padrão existente até então, com chapas de 2,00 mm de espessura (MSG 14). A figura 29 ilustra a vista isométrica do modelo tridimensional dos elos do mecanismo.

Figura 29: Modelos 3D desenvolvidos para os braços



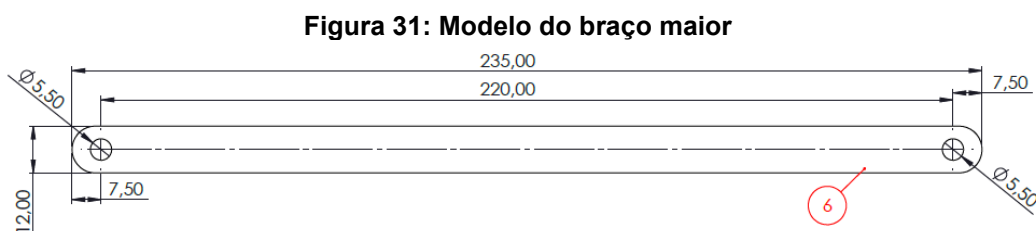
Fonte: Autoria própria (2025)

A figura 30 ilustra as propriedades dimensionais e geométricas dos braços menores.



Fonte: Autoria própria (2025)

A figura 31 ilustra as dimensões do braço maior do mecanismo.



Fonte: Autoria própria (2025)

As juntas de rotação que permitem o movimento entre os braços foram elaboradas com base em parafusos, porcas, arruelas e anéis poliméricos para reduzir o atrito entre os corpos. O modelo 3D do arranjo das juntas está ilustrado na figura 32.

Figura 32: Modelo das juntas de rotação.



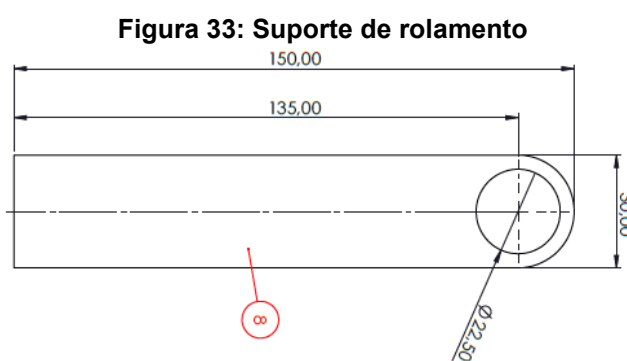
Fonte: Autoria própria (2025)

5.5.4.4 Mancal e eixo de rolamento

Todo o movimento do mecanismo do crockmeter depende de um torque de acionamento, dentre as opções de acionamento disponíveis para esse tipo de

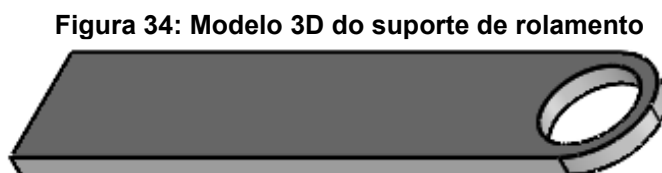
máquina citadas anteriormente, foi observado que a opção de acionamento manual via manivela se mostrou a mais viável economicamente, devido ao baixo custo de aquisição quando comparado a um motor elétrico, além da possibilidade de fabricação nas instalações da UTFPR. Com objetivo de minimizar os efeitos de atrito e desgaste, considerou-se de boa prática posicionar um rolamento entre o eixo da manivela e o seu respectivo mancal. Segundo Norton (2013), o uso de rolamentos em mancais é necessário para aplicações em velocidades mais altas, com resistência a temperaturas mais elevadas e baixo atrito

Por se tratar de um mecanismo de alta simplicidade em termos de esforços e solicitações mecânicas, não houve necessidade de se elaborar um arranjo elaborado para um mancal de rolamento, portanto, o suporte foi modelado com base em uma chapa metálica, cortada em dimensões adequadas com um furo para se posicionar o rolamento. A figura 33 ilustra a vista frontal do modelo de suporte desenvolvido.



Fonte: Autoria própria (2025)

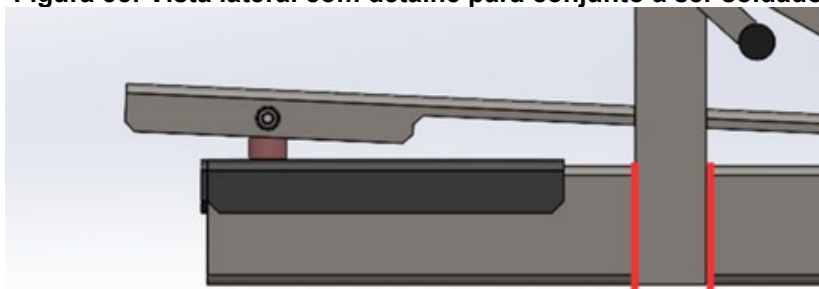
A figura 34 ilustra o modelo 3D desenvolvido com auxílio do *SolidWorks*.



Fonte: Autoria própria (2025)

A chapa de mancal é soldada na estrutura principal da base do aparelho, o modelo 3D da chapa posicionada na base principal encontra-se na figura 35, em que as soldas foram executadas conforme desenhos em vermelho.

Figura 35: Vista lateral com detalhe para conjunto a ser soldado



Fonte: Autoria própria (2025)

Com objetivo de reduzir o atrito e desgaste causado pelo movimento relativo entre os dois corpos de aço (mancal e eixo), foi considerado adequado o uso de um rolamento rígido de esferas.

“Os mancais de esferas contêm várias esferas de aço endurecido presas entre duas pistas, uma interior e exterior para mancais radiais, ou pistas superior e inferior para mancais axiais.” (NORTON, 2013)

O rolamento selecionado para o dispositivo foi cortesia de uma empresa local, porém se trata de um rolamento rígido de esferas de fabricação chinesa sem especificações visíveis e sem catálogos de fabricantes encontrados. A figura 36 mostra o modelo de rolamento utilizado.

Figura 36: Rolamento utilizado no crockmeter.



Fonte: Autoria própria (2025)

Após a aquisição do rolamento, houve alguns redimensionamentos na estrutura, principalmente no que tange as dimensões do furo do mancal (ilustrado na figura 33 já com as dimensões após redimensionamento), houve também redimensionamento no eixo onde o rolamento será acoplado, de modo a possibilitar a montagem adequada dos componentes, conforme descrito a seguir.

A transmissão do torque entre a manivela e o mecanismo ocorre por meio de um eixo que é acoplado ao rolamento do mancal descrito anteriormente. O eixo possui geometria simples, cilíndrica com pequenos rebaixos para adequar a montagem com o rolamento e os elos que compõem o aparelho. A figura 37 ilustra um detalhe do modelo 3D, onde é possível observar o posicionamento e funcionalidade do eixo.

Figura 37: Detalhe do eixo no modelo 3D



Fonte: Autoria própria (2025)

O material base do eixo foi uma barra redonda de aço SAE 1020 de 1" de diâmetro fornecida como cortesia de uma empresa local. A figura 38 ilustra o material base após algumas etapas de usinagem.

Figura 38: Material base para fabricação do eixo e outros componentes.



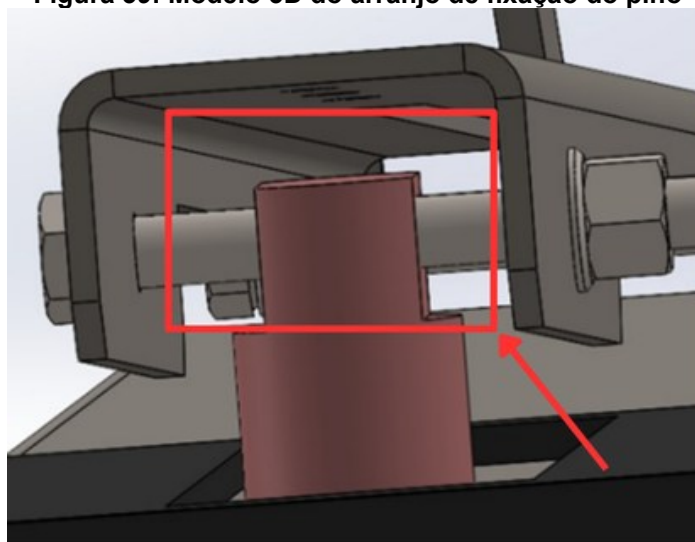
Fonte: Autoria própria (2025)

5.5.4.5 Pino de atrito

O único requisito estabelecido norma ABNT NBR ISO 105-X12 determina que o pino responsável pelo atrito entre os tecidos deve possuir diâmetro de 16 milímetros. Tendo esse requisito como fundamento, o desenvolvimento do pino teve como fundamento uma geometria cilíndrica. Para facilitar as etapas de montagem, foram

adicionados dois entalhes na geometria, para que seja possível realizar um furo, por onde será inserido um elemento cilíndrico que atua como eixo de fixação, impedindo deslocamento horizontal e rotação do pino. A figura 39 ilustra o pino em seu arranjo com detalhe para a fixação.

Figura 39: Modelo 3D do arranjo de fixação do pino



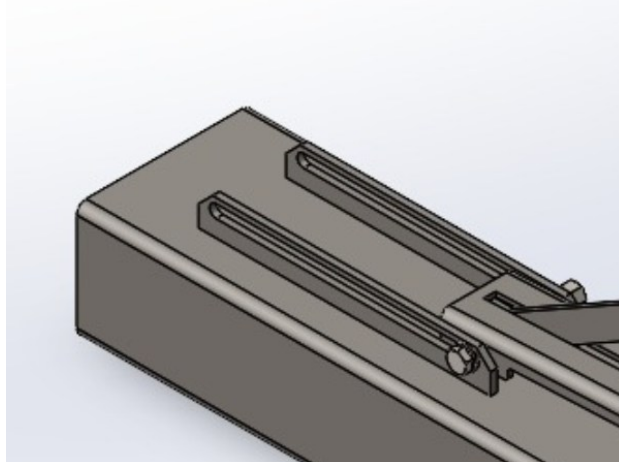
Fonte: Autoria própria: 2025

A matéria prima do pino deve ser a mesma do eixo de rolamento por razões de conveniência.

5.5.4.6 Trilhos de deslizamento

O movimento de vaivém do eixo de rotação ilustrado na figura 28 ocorre por meio da rotação do eixo pela manivela. Esse movimento precisa de elementos para restringir o deslocamento lateral do eixo. Para isso, houve um redimensionamento desse subsistema em relação ao projeto conceitual, ilustrado na figura 14. Foi elaborado um arranjo com dois trilhos de paralelos perfeitamente alinhados, que permitem o deslocamento do pino de rotação, assim possibilitando o movimento do curso do pino de fricção, ilustrado na figura 40.

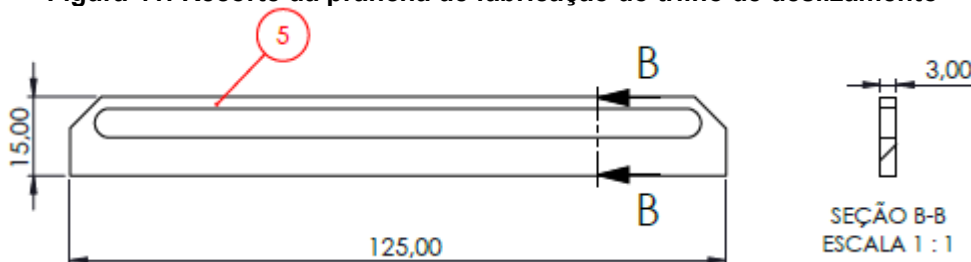
Figura 40: Modelo 3D do arranjo de deslizamento dos trilhos traseiros



Fonte: Autoria própria (2025)

A figura 41 ilustra a geometria com as dimensões dos dois trilhos de deslizamento.

Figura 41: Recorte da prancha de fabricação do trilho de deslizamento

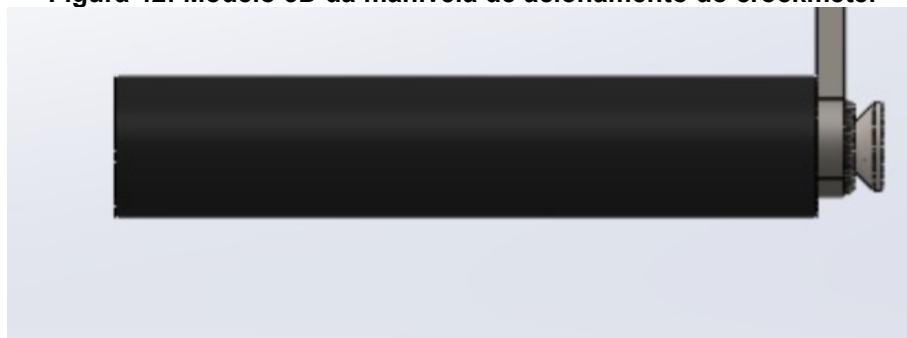


Fonte: Autoria própria (2025)

5.5.4.7 Manivela

Conforme dito anteriormente, torque será aplicado no sistema por meio de um braço de alavanca, que será rotacionado manualmente, para isso, foi necessário elaborar um projeto de manivela que estará conectada ao chamado braço menor, ilustrado na figura 30. O modelo 3D do arranjo da alavanca no braço encontra-se na figura 42.

Figura 42: Modelo 3D da manivela de acionamento do crockmeter



Fonte: Autoria própria (2025)

Diferentemente dos outros componentes citados até então, a manivela foi fabricada em material polimérico, para garantir mais conforto ao utilizar o dispositivo e redução de massa.

5.6 Manufatura dos componentes do protótipo

Com base nos dados exibidos na seção de projeto detalhado e no planejamento de manufatura, os componentes foram todos fabricados com base nas especificações de matéria prima descritas, como chapas e barras redondas, popularmente conhecidas como tarugos. Essa seção será dividida entre componentes conformados e usinados, essa divisão é coerente pois não existem componentes que são fabricados a partir dos dois processos em conjunto.

5.6.1 Componentes conformados

O desenvolvimento do crockmeter contou com um grande número de peças fabricadas com base em chapas metálicas, de espessuras 2,00 e 3,00 mm, cortadas com auxílio de máquinas a laser e posteriormente conformadas por dobramento.

As etapas de corte e dobra foram realizadas por uma metalúrgica local. Essa alternativa foi adotada para garantir melhor precisão nas dimensões e acabamento das peças, seguindo os desenhos técnicos desenvolvidos durante o projeto, que foram enviados à empresa responsável por essas operações. A figura 43 ilustra um recorte do orçamento enviado pela metalúrgica, que descreve os quantitativos de operações, espessuras e matéria prima das chapas utilizadas.

Figura 43: Recorte do orçamento enviado pela metalúrgica.

Item	PÇ	UN	DESCRIÇÃO	Laser	Serra	Dobra	Tesoura	Puncionadeira	Solda	Rosca	Pintura	Calandira	Galvanização	Montagem	#	Tipo MP
1	1	PÇ	Braço de Sustentação - QTD 1	A											3,00	Carb
2	1	PÇ	Braço Maior - QTD 1	A											3,00	Carb
3	2	PÇ	Braço Menor - QTD 2	A											3,00	Carb
4	1	PÇ	Chapa Braço Principal - QTD 1	A		2									2,00	Carb
5	1	PÇ	Chapa do Tecido - QTD 1	A		2									2,00	Carb
6	2	PÇ	Chapa Trilho - QTD 2	A											3,00	Carb
7	1	PÇ	Tampa da Chapa do Tecido - QTD 1	A											2,00	Carb
8	1	PÇ	Chapa Base	A		4									3,00	Carb

Obs: Valor Mínimo de pedido R\$ 25,00, mínimo p faturamento R\$ 150,00

* Não nos responsabilizamos por eventuais divergências no desenvolvimento dos desenhos enviados pelo cliente

** Furos menores que a espessura serão marcados

*** Os desenhos de corte devem ser enviados na escala 1:1 em milímetros. Não nos responsabilizamos caso estiverem em outra escala

Fonte: Enviado por metalúrgica local (2025)

As peças recebidas após o corte e dobra realizados pela metalúrgica encontram-se na figura 44, juntamente do material base dos processos de usinagem.

Figura 44: Materiais de construção do crockmeter



Fonte: Autoria própria (2025)

Após o recebimento das peças fabricadas por terceiros, houve uma etapa de conferência de todas as dimensões para verificação de conformidade com o projeto e desenhos enviados ao fabricante e fora concluído que todas as dimensões atendiam aos critérios estabelecidos, com exceção do furo do rolamento, a maneira para contornar esse contratempo de projeto será discutida detalhadamente na seção de montagem do aparelho.

5.6.2 Componentes usinados

Conforme dito anteriormente, peças como o pino de fricção, o eixo de transmissão de torque e a manivela de acionamento foram fabricados a partir de material cilíndrico, o que possibilita a manufatura utilizando as máquinas disponíveis no laboratório de usinagem.

Tanto o eixo quanto o pino tiveram a mesma matéria prima, um segmento de uma barra de aço SAE 1020 cilíndrica com uma polegada de diâmetro fornecida como cortesia por uma empresa local. As principais operações realizadas foram realizadas no torno mecânico, com objetivo de desbastar o material até atingir as dimensões especificadas no projeto.

Para simplificar a execução do pino, os rasgos que o esse possui para sua fixação foram removidos da execução, pois fora concluído que não havia necessidade contanto que o furo fosse feito com boa precisão geométrica.

O furo no sentido transversal do pino, para possibilitar sua fixação, foi executado com auxílio da fresadora, por conta de seu equipamento de leitura digital de posição, chamado de DRO (Digital Readout), que permitiu a calibração com alta precisão, para que o furo realizado na superfície cilíndrica esteja centralizado.

As operações de desbaste foram executadas no torno com pastilhas de usinagem e foi empregado o recurso do avanço automático, com finalidade de reduzir as operações manuais e melhorar o acabamento e tolerâncias dimensionais. A tabela de velocidades de avanço longitudinal do torno utilizado encontra-se na figura 44.

Figura 44: Tabela de avanços do torno mecânico

Diagrama de avanço de um torno mecânico com uma tabela de conversão de unidades e uma lista de parâmetros de corte.

INCH	mm	POS	mm	INCH
.0016	0.042	MCFT6	0.063	.0021
.0022	0.057	MCFT1	0.074	.0029
.0025	0.063	MCFT3	0.079	.0031
.0028	0.073	MCFT7	0.094	.0037
.0036	0.091	NCFT1	0.116	.0046
.0043	0.109	NCFT8	0.14	.0055
.0046	0.117	NCFT7	0.15	.0059
.0049	0.125	MCET3	0.16	.0063
.0059	0.151	NCET5	0.19	.0075
.0069	0.176	XCFT6	0.223	.0088
.0078	0.199	XCFT5	0.254	.01
.0087	0.221	XCFT2	0.282	.0111
.0092	0.235	NCET7	0.297	.0117
.0099	0.251	MCDT3	0.32	.0126
.0106	0.271	MCDT8	0.348	.0137
.0115	0.293	MCDT7	0.374	.0147
.0122	0.31	XCFT7	0.394	.0155
.0139	0.354	XCET6	0.449	.0177
.0151	0.385	NCDT4	0.49	.0193
.0171	0.435	NCDT8	0.564	.0218
.0191	0.486	XCET1	0.62	.0244
.0209	0.531	XCET3	0.675	.0266
.0226	0.575	XCET8	0.731	.0288
.0313	0.796	XCDT5	1.013	.0399

Fonte: Autoria própria

Para garantir um acabamento adequado sem exigir muito do ferramental, as operações foram executadas com velocidade de avanço de 0,094 mm/rotação. Os passes tiveram profundidade de corte entre 1,00 e 1,50 mm, para não comprometer a vida útil das pastilhas e o fluido de corte fora aplicado de maneira manual, com auxílio de uma garrafa plástica.

5.6.3 Etapas de soldagem

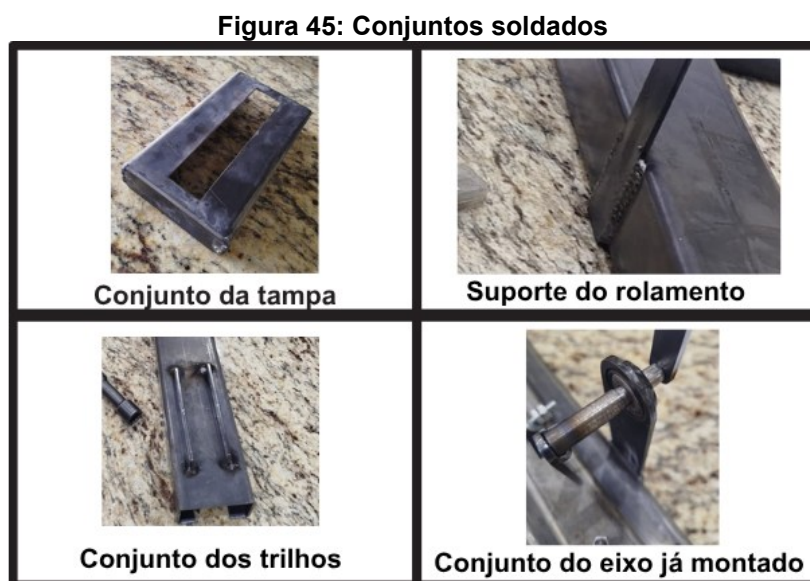
As operações de soldagem foram necessárias em alguns componentes estruturais do aparelho, especialmente no suporte de rolamento da base, nas chapas da tampa superior, nos trilhos de deslizamento e nos braços ligados ao eixo de acionamento, de modo à facilitar a montagem e garantir maior rigidez dos braços, em comparação com a junta parafusada da figura 37.

O processo utilizado foi a soldagem MIG/MAG, que possibilitou facilidade de execução nas juntas entre chapas e barras de aço SAE 1020.

Inicialmente, foi realizada a soldagem dos suportes de rolamento à base principal, garantindo o posicionamento correto dos eixos e o alinhamento do mecanismo. Em seguida, foram soldados os trilhos à chapa base, a precisão e o alinhamento nessa etapa foram de grande importância para garantir o movimento adequado do crockmeter. Posteriormente foram unidas as chapas que compõem a tampa superior, responsáveis por sustentar o tecido testemunha durante o ensaio.

Por fim, executou-se a soldagem dos braços de acionamento, fixando-os ao eixo principal de forma a transmitir o movimento oscilatório do mecanismo.

Após a conclusão das soldas, as juntas foram lixadas para remoção de respingos, assegurando o encaixe adequado das demais peças e o bom aspecto visual do conjunto. O quadro da figura 45 apresenta o resultado dos conjuntos soldados.



Fonte: Autoria própria (2025)

5.7 Montagem do crockmeter

A aplicação dos princípios de DFA, descritos na seção 4.3.4.1 e 5.2, fez com que as etapas de modelagem 3D do projeto detalhado fossem pautadas com foco nas etapas de montagem, de modo a padronizar componentes como parafusos e porcas, além de minimizar a possibilidade de falhas durante as etapas finais de desenvolvimento do protótipo.

As etapas de montagem ocorreram tendo como base o modelo descrito no projeto detalhado, porém com algumas adaptações considerando as soluções encontradas em lojas de compra desses materiais, como é possível exemplificar com os parafusos adquiridos, que no projeto foram todos especificados considerando padrão métrico, porém foram adotados equivalentes aproximados de componentes no padrão imperial.

Durante as etapas de montagem, foram executados todos os subconjuntos ilustrados nas figuras 32, 35, 37, 39, 40 e 42. Em relação ao modelo 3D desenvolvido,

foram feitas algumas alterações conforme necessárias, como a adoção de porcas, arruelas e anais além do especificado, para garantir melhor fixação e redução do atrito.

Um grande equívoco cometido durante a execução desse projeto, foi a especificação do furo que comporta o rolamento. A princípio, fora estabelecido que esse furo seria executado via corte à laser, por esse motivo, o rolamento não foi capaz de ser ajustado devidamente ao seu suporte, pois o furo possuía dimensões maiores na ordem de 0,30 mm, por esse motivo, o rolamento foi soldado à sua estrutura de suporte. Por mais que tal prática não corresponda com as boas práticas de montagem mecânica, fora a solução adotada devido ao tempo restrito para execução do projeto, visto que os prazos de entrega de um novo suporte não se alinhavam com o cronograma do projeto.

Apesar de não ser uma prática recomendável, essa medida não compromete o funcionamento do mecanismo, pois apenas a pista interna do rolamento precisa se movimentar para que o mecanismo se mova, de modo que o acionamento não foi prejudicado. Vale ressaltar que rolamentos não devem ser soldados pois essa prática pode comprometer a precisão dimensional, danificar componentes e gerar tensões residuais em seus componentes e tal prática não deve ser adotada em projetos futuros.

Os demais subconjuntos do aparelho foram montados sem enfrentar contratempos, sendo pautados principalmente em fixações por parafusos, porcas e arruelas por meio de chaves adequadas, como chaves de boca ou Allen.

A lixa que impede o deslocamento relativo do corpo de prova com a base foi posicionada em seu local adequado (curso do pino) e fixada com o próprio peso da tampa de fixação, visto que a aplicação de colas sem equipamentos adequados poderia prejudicar a fixação, criando desníveis na superfície de atrito, comprometendo os resultados.

A força vertical para baixo, responsável por causar o atrito entre os tecidos, especificada normativamente como da ordem de $9 \pm 0,2$ N foi um requisito que não foi atendido adequadamente devido à falta de acesso à equipamentos adequados, como células de carga com indicadores digitais. Por esse motivo, o peso foi calibrado com uso de uma balança digital e o peso adicionado na calibração foi fabricado a partir de segmentos barra metálica que deu origem ao eixo e ao pino. A falta de precisão na calibração se deu ao fato de a balança não possuir geometria compatível com o conjunto montado, além de que o equipamento indicava valores diferentes de massa

conforme a posição da aplicação da força, o que comprometeu a precisão na força do produto final.

As imagens do conjunto montado serão apresentadas na seção de resultados, onde é possível observar que o mecanismo cumpre o requisito de realizar o movimento de vaivém do crockmeter e pode ser utilizado para fins didáticos e ilustrativos, porém devido à calibração imprecisa, não pode ser utilizado para realizar ensaios certificados.

6 RESULTADOS

Esta seção tem como objetivo apresentar os resultados obtidos após todas as etapas descritas na metodologia de projeto e manufatura do aparelho crockmeter conforme a norma ABNT NBR ISO 105-X12: Têxteis — Ensaio de solidez da cor — Solidez da cor à fricção.

O desenvolvimento do crockmeter foi fundamentado em princípios de DFMA, o que contribuíram diretamente para a simplificação das etapas de manufatura e montagem. A aplicação desses princípios permitiu revisar o projeto conceitual, propondo alterações estruturais que aumentariam a viabilidade do protótipo, como a adoção de uma base fabricada a partir de chapa dobrada ao invés de um bloco maciço, que devido ao alto peso, tornaria as etapas de manufatura, transporte e montagem mais complexas. A montagem da tampa a partir de duas peças distintas soldadas foi outra alteração que reduziu significativamente o custo de produção, pois simplificou a manufatura do componente na máquina de dobra. Os demais componentes, como os braços do mecanismo e os trilhos de deslizamento, foram modelados e fabricados com base em geometrias básicas, simplificando o *setup* de máquinas e minimizando a possibilidade de erros de execução. A figura 46 ilustra o protótipo montado e seus principais conjuntos.

Figura 46: Protótipo do crockmeter montado



Fonte: Autoria própria (2025)

A norma regulamentadora do ensaio define quatro parâmetros principais para a sua execução; o diâmetro do pino, o curso de movimento do conjunto, o número de ciclos realizados por ensaio e a força vertical aplicada sobre os dois tecidos. Os

parâmetros dimensionais, ou seja, o diâmetro de pino e o curso de movimento foram atendidos de maneira satisfatória, dentro das tolerâncias estabelecidas. O número de ciclos cabe ao executor do ensaio verificar, portanto é excluído do escopo do projeto mecânico e manufatura do protótipo.

O único critério de projeto que não foi atendido adequadamente foi o que diz respeito à força vertical de 9 N para baixo. O não atendimento desse requisito impossibilita a aplicação desse protótipo para a realização de ensaios certificados e a sua causa está relacionada aos métodos de calibração utilizados durante as etapas de montagem. A calibração do aparelho deveria ser feita com o uso de equipamentos adequados, como células de carga ou dinamômetros digitais, montados de maneira a mensurar corretamente a força vertical exercida pelo pino.

6.1 Análise de custo do protótipo

Com objetivo de validar se as aplicações de DFMA causaram um impacto significativo, é necessário calcular o custo total envolvido no desenvolvimento do protótipo do Crockmeter, considerando materiais, processos de fabricação, mão de obra e eventuais serviços terceirizados. O levantamento dos custos foi realizado com base nos custos de aquisição dos materiais e componentes necessários para a produção do protótipo. A figura 47 ilustra o custo unitário de cada um dos componentes construídos a partir de chapas metálicas, que tiveram a fabricação terceirizada.

Figura 47: Orçamento dos produtos conformados

Item	PÇ	UN	DESCRIÇÃO	Laser	Sierra	Dobra	Tesoura	Puncionadeira	Solda	Rosca	Pintura	Calandra	Galvanização	Montagem	#	Tipo MP	Valor Unit	Valor Total	
1	1	PÇ	Braço de Sustentação - QTD 1	A											3,00	Carb	R\$ 1,78	R\$ 1,78	
2	1	PÇ	Braço Maior - QTD 1	A											3,00	Carb	R\$ 1,60	R\$ 1,60	
3	2	PÇ	Braço Menor - QTD 2	A											3,00	Carb	R\$ 0,59	R\$ 1,18	
4	1	PÇ	Chapa Braço Principal - QTD 1	A		2									2,00	Carb	R\$ 11,00	R\$ 11,00	
5	1	PÇ	Chapa do Tecido - QTD 1	A		2									2,00	Carb	R\$ 9,00	R\$ 9,00	
6	2	PÇ	Chapa Trilho - QTD 2	A											3,00	Carb	R\$ 1,17	R\$ 2,34	
7	1	PÇ	Tampa da Chapa do Tecido - QTD 1	A											2,00	Carb	R\$ 0,54	R\$ 0,54	
8	1	PÇ	Chapa Base	A		4									3,00	Carb	R\$ 36,90	R\$ 36,90	
Obs: Valor Mínimo de pedido R\$ 25,00. mínimo p faturamento R\$ 150,00																	Valor Total dos Produtos =		R\$ 64,34

* Não nos responsabilizamos por eventuais divergências no desenvolvimento dos desenhos enviados pelo cliente

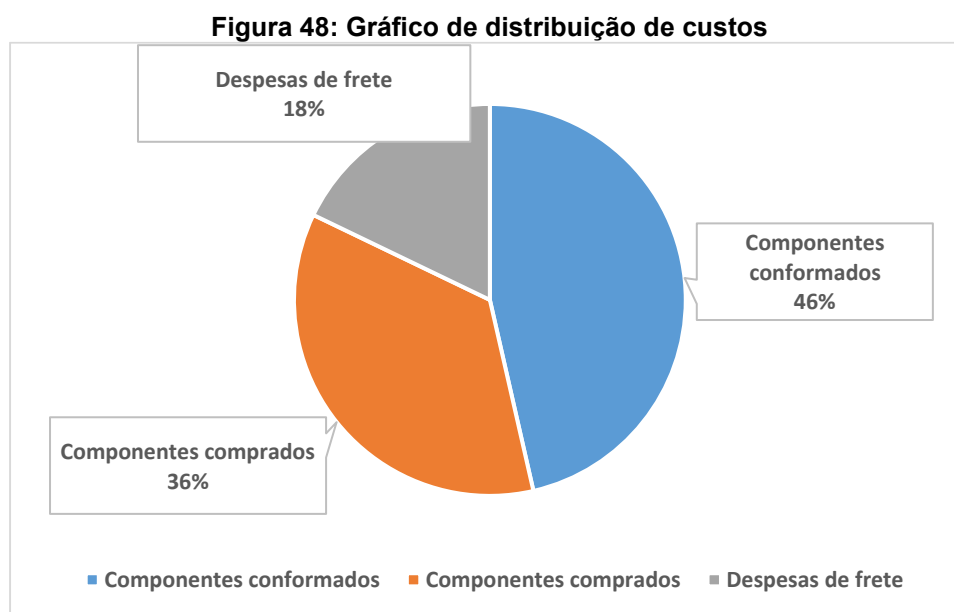
** Furos menores que a espessura serão marcados

*** Os desenhos de corte devem ser enviados na escala 1:1 em milímetros. Não nos responsabilizamos caso estiverem em outra escala

Fonte: Enviado por metalúrgica local (2025)

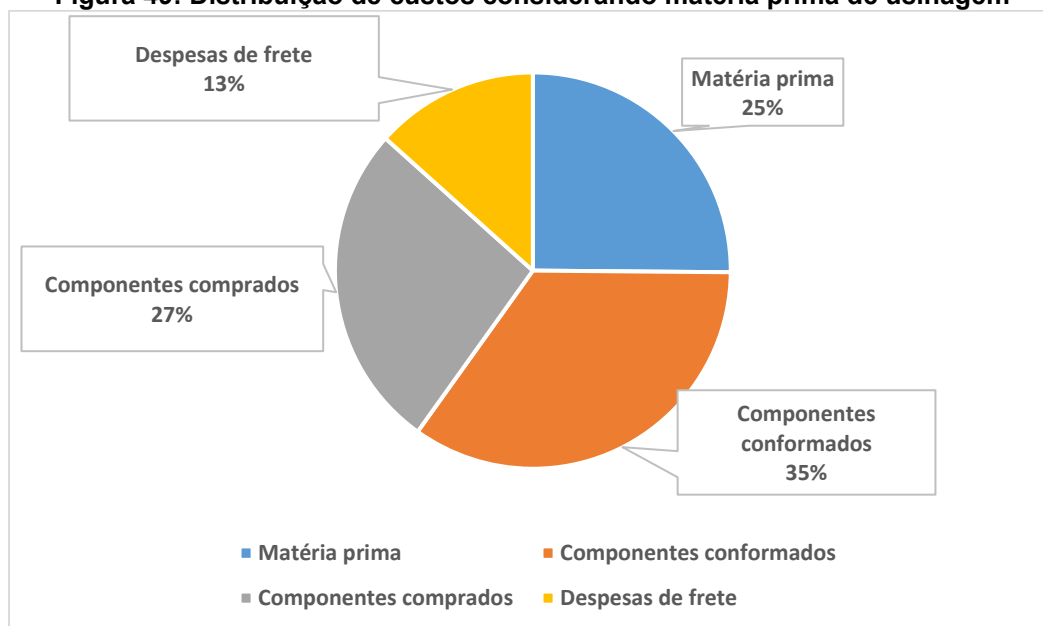
Somados aos custos dos componentes conformados, é necessário contabilizar os custos de outros componentes que constituem o aparelho, como

parafusos, porcas, arruelas, anéis e a lixa. Para a composição de custos do protótipo, foram considerados também custos indiretos de frete dos componentes da metalúrgica local. A figura 48 ilustra a distribuição de custos do protótipo.



Fonte: Autoria própria (2025)

Houve uma parcela dos custos que foi poupada durante a execução da manufatura, correspondentes ao valor de aquisição de uma barra cilíndrica de aço SAE 1020. Após cotações com fornecedores locais, fora concluído que a compra de um tarugo de uma polegada de diâmetro, com 350 mm de comprimento (menor medida fornecida) adicionaria aproximadamente R\$42,00 aos custos de matéria prima, alterando a distribuição de custos, conforme ilustra a figura 49.

Figura 49: Distribuição de custos considerando matéria prima de usinagem

Fonte: Autoria própria (2025)

Ao somar todos os custos de matéria prima para a produção do dispositivo, foram empregados aproximadamente R\$140,00 (Cento e quarenta reais), o que representa uma pequena fração do custo de aquisição do aparelho, visto que, conforme informado por professores do Departamento Têxtil do campus Apucarana, os modelos de entrada de crockmeter são comercializados na faixa de R\$12.000. Portanto, é possível concluir que o protótipo foi desenvolvido com uma redução de custos da ordem de 98,3% ao se comparar com o custo de aquisição de um aparelho comercial.

7 CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como objetivo principal o projeto e a manufatura de um aparelho do tipo Crockmeter conforme os requisitos técnicos estabelecidos na norma ABNT NBR ISO 105-X12, visando o desenvolvimento de um protótipo funcional e de baixo custo para aplicação em ambientes acadêmicos.

A análise dos resultados demonstra que o objetivo geral foi parcialmente alcançado, com a entrega de um protótipo físico que valida o processo de desenvolvimento de produto utilizado. A aplicação dos princípios de Design for Manufacturing and Assembly (DFMA) foi um fator que contribuiu para o desenvolvimento do projeto, permitindo a simplificação da estrutura e dos processos de manufatura. Alterações estruturais, como a substituição da base maciça por uma chapa dobrada e a otimização da tampa de fixação, resultaram em um design mais viável e de fácil produção com recursos convencionais.

A principal contribuição do trabalho reside na viabilidade econômica do protótipo. O custo total de matéria-prima e serviços terceirizados para a produção do Crockmeter foi de aproximadamente R\$ 140,00. Ao comparar este valor com o custo de aquisição de modelos comerciais de entrada, que se situam na faixa de R\$ 12.000,00, o protótipo demonstrou uma redução de custos da ordem de 98,3%. Este resultado valida o objetivo do projeto de desenvolver um equipamento acessível e com possibilidade de validação com a aplicação de métodos mais sofisticados de calibração que ainda sim tornariam o protótipo viável quando comparado a uma solução comercial.

No entanto, o estudo enfrentou uma limitação que impede a utilização do protótipo para ensaios com certificação: o não atendimento adequado ao requisito da força vertical de 9 N. A dificuldade em calibrar essa força com precisão, devido à falta de acesso a equipamentos de medição adequados (como células de carga ou dinamômetros digitais), compromete a repetibilidade e a certificação dos resultados.

Objetivamente, o trabalho atendeu parcialmente seu propósito de projetar e manufaturar um Crockmeter funcional e economicamente viável, provando a eficácia da metodologia DFMA na redução de custos. O protótipo representa uma base sólida para futuras melhorias, especialmente no que diz respeito à precisão da calibração da força vertical, que é o ponto chave para a sua plena conformidade com a norma ABNT NBR ISO 105-X12.

7.1 Sugestões para trabalhos futuros

Considerando que o protótipo desenvolvido teve caráter experimental e foi construído sob forte limitação de tempo e recursos, recomenda-se que trabalhos futuros se dediquem à fabricação de uma nova versão do *Crockmeter*, empregando técnicas de manufatura mais precisas e acabamento aprimorado, recursos que podem ser executados com apoio de alguma bolsa de auxílio à projetos.

Uma versão construída com controle dimensional mais rigoroso, utilização de máquinas CNC, equipamentos de calibração adequados e componentes comerciais de melhor qualidade poderia alcançar plenamente os parâmetros normativos da ABNT NBR ISO 105-X12. Outro aspecto que pode ser avaliado é a aplicação de acionamento via motores elétricos, como motores de passo, que possibilitariam um ajuste prévio do número de rotações e garantiriam uma distribuição de torque uniforme ao longo do movimento.

Essa nova etapa de desenvolvimento permitiria validar o conceito proposto neste estudo, transformando o protótipo acadêmico em um equipamento confiável para uso laboratorial e industrial.

REFERÊNCIAS

- AATCC – AMERICAN ASSOCIATION OF TEXTILE CHEMISTS AND COLORISTS. **AATCC TM - 8**: Colorfastness to Crocking: AATCC Crockmeter Method. AATCC, 2005.
- ABIT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TÊXTIL E DE CONFECÇÃO. **Panorama da indústria têxtil e de confecção brasileira**. São Paulo: ABIT, 2025. Disponível em: <https://www.abit.org.br/>. Acesso em: 9 nov. 2025.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8432**: Materiais têxteis – determinação da solidez de cor à fricção. Rio de Janeiro: ABNT, 1984.
- BHUSHAN, B. **Introduction to Tribology**. 2. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2013.
- Boothroyd, G., Dewhurst, P., & Knight, W.A. **Product Design for Manufacture and Assembly**. 3. ed.). Boca Raton: CRC Press, 2011.
- BRALLA, J. G. **Design for Manufacturability Handbook**. 2. ed. New York: McGraw-Hill, 1999.
- COSTA NETO, P. L. O. **Decisões na gestão da qualidade**. In: COSTA NETO, P. L. O. (coord.). *Qualidade e competência nas decisões*. São Paulo: Blucher, 2007.
- ČUBRIĆ, I. S.; ČUBRIĆ, G. **Influence of yarn and fabric properties on mechanical behavior of polymer materials and its retention over time**. *Polymers*, Basel, v. 14, n. 15, p. 3112, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/polym14153112> . Acesso em: 08 jun. 2025.
- DELTAMÁQUINAS TÊXTEIS. **O que é controle de qualidade? Como funciona na indústria têxtil?** 2024. Disponível em: <https://deltamaquinastexteis.com.br/o-que-e-controle-de-qualidade-como-funciona-na-industria-textil/> . Acesso em: 14 mai. 2025.
- ERDMAN, G.; SANDOR, G. N. **Mechanism design: analysis and synthesis**. 2. ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1997.
- GIACOMINI, F. et al. **Análise da alteração de tonalidade em tecidos tintos com corantes naturais submetidos ao teste de solidez da cor à lavagem**. 3º CONTEXMOD, v. 1, n. 3, 2015.
- INMETRO. **Tribologia** – Materiais e superfícies. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/inmetro/pt-br/assuntos/metrologia-cientifica/laboratorios/materiais-e-superficies/tribologia> . Acesso em: 14 mai. 2025.
- KURAMOTO, K. et al. **Visual colour fastness assessments for multi-coloured fabrics**. In: 17th World Textile Conference AUTEX 2017 - Textiles: Shaping the Future. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, v. 254, p. 142014, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/254/14/142014> . Acesso em: 14 mai. 2025.

NAIJU, C. D. **DFMA for product designers: A review**. Materials Today: Proceedings, v. 46, p. 7473-7478, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214785321001772?via%3Dihub> . Acesso em 10 out. 2025

NORTON, R. L. **Projeto de máquinas: uma abordagem integrada**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

PAHL, G. et al. **Engineering Design: A Systematic Approach**. 3. ed. Manhattan: Springer, 2007

PRECEDENCE RESEARCH. **Textile market size, share and trends 2025 to 2034**. [S.l.]: Precedence Research, 2025. Disponível em: <https://www.precedenceresearch.com/textile-market> . Acesso em: 9 nov. 2025.

ROY, R.; PRAKASH, Y. **Quality control in textiles and apparel manufacturing**. In: Threads of innovation: exploring the science of textile and apparel. [S.l.]: Emerald Publishing House, 2024. p. 127–142.

SDL ATLAS. **Crockmeter Electronic**. 2024. Disponível em: <https://sdlatlas.com/products/crockmeter-electronic> . Acesso em: 15 maio 2025.

SDL ATLAS. **Crockmeter/Rubbing Fastness Tester**. 2024. Disponível em: <https://sdlatlas.com/products/crockmeterrubbing-fastness-tester#product-details> . Acesso em: 15 maio 2025.

STACHOWIAK, G. W.; BATCHELOR, A. W. **Engineering Tribology**. 3. ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2005.

TEXCONTROL. **Escala cinza/ISO – Degradação da cor**. 2024. Disponível em: <https://texcontrol.com.br/produto/escala-cinzaiso-degradacao-da-cor/> . Acesso em: 15 maio 2025.

TRIBOLOGY INTERNATIONAL. Amsterdam: Elsevier. Publicação periódica. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/journal/tribology-international> . Acesso em: 26 maio 2025.


ULRICH, K. T.; EPPINGER, S. D. **Product design and development**. 6. ed. Nova Iorque: McGraw Hill, 2016

UMETSU, C. S.; MIYAZAWA, E. **Planejamento de processo** [manuscrito]. Trabalho apresentado como parte do requisito da disciplina PMC-581 Projeto Mecânico II – Engenharia Mecânica: Projeto e Fabricação. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2001.

WANG, Yu; LI, Xuejiao; KRUGL, Sascha; WANG, Peng. **Innovative yarn modeling with fiber damage for predicting friction and wear in textile reinforcement manufacturing**. *Tribology International*, v. 212, 110956, 2025. Elsevier. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301679X25004517> . Acesso em 10 outubro 2025

ANEXO A – FOLHA DE PROCESSOS DO EIXO

Formulário Padronizado ou Planilha

 UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ	FOLHA DE PROCESSO	F-20 01 1 de 1


Elaborado por: João Vítor Aiello de Tulio

Aprovado por: Janaina

Código da empresa UTFPR		Descrição Eixo de rotação				Protótipo X	Pré Lançamento	Produção
		Código desenho H002	Revisão Desenho 0					
Operação	Tempo (min)	Descrição Operação	Máquina	Ferramentas Processo	Instrumento o Controle	Cotas Plano Controle	Disposição	
10	10	Corte	Serra arco	Morsa	Paquímetro	Compr. 42±0,5 mm	Caixa	
20	15	Desbaste	Torno mecânico	Pastilha de usinagem	Paquímetro	Diam. 5±0,1 mm Compr. 12±0,3 mm	Caixa	
40	15	Esmernilhamento	Esmernil de bancada	Disco de acabamento	Paquímetro	Diam. 42±0,1 mm	Caixa	
50		Gravação Montagem	-					
60		Expedição/ Embalagem	-					
70		Estoque	-					

ANEXO B – FOLHA DE PROCESSOS DO PINO DE FRICÇÃO

Formulário Padronizado ou Planilha

 UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ	FOLHA DE PROCESSO	F-20 01 1 de 1
	Elaborado por: João Vítor Aiello de Tulio	

Aprovado por: Janaina

Código da empresa UTFPR		Descrição Eixo de rotação				Protótipo X	Pré Lançamento	Produção
		Código desenho H002	Revisão Desenho 0					
Operação	Tempo (min)	Descrição Operação	Máquina	Ferramentas Processo	Instrumento o Controle	Cotas Plano Controle	Disposição	
10	10	Corte	Serra arco	Morsa	Paquímetro	Compr. 54±0,5 mm	Caixa	
20	15	Desbaste junta manivela	Torno mecânico	Pastilha de usinagem	Paquímetro	Diam. 5±0,1 mm Compr. 12±0,3 mm	Caixa	
40	15	Desbaste junta movel	Torno mecânico	Pastilha de usinagem	Paquímetro	Diam. 5±0,1 mm Compr. 12±0,3 mm	Caixa	
	5	Acabamentos junta manivela	Esmeril de bancada	Disco de acabamento	Paquímetro	Compr. 12±0,1 mm	Caixa	
	5	Acabamentos junta movel	Esmeril de bancada	Disco de acabamento	Paquímetro	Compr. 12±0,1 mm	Caixa	
50		Gravação Montagem	-					
60		Expedição/ Embalagem	-					
70		Estoque	-					